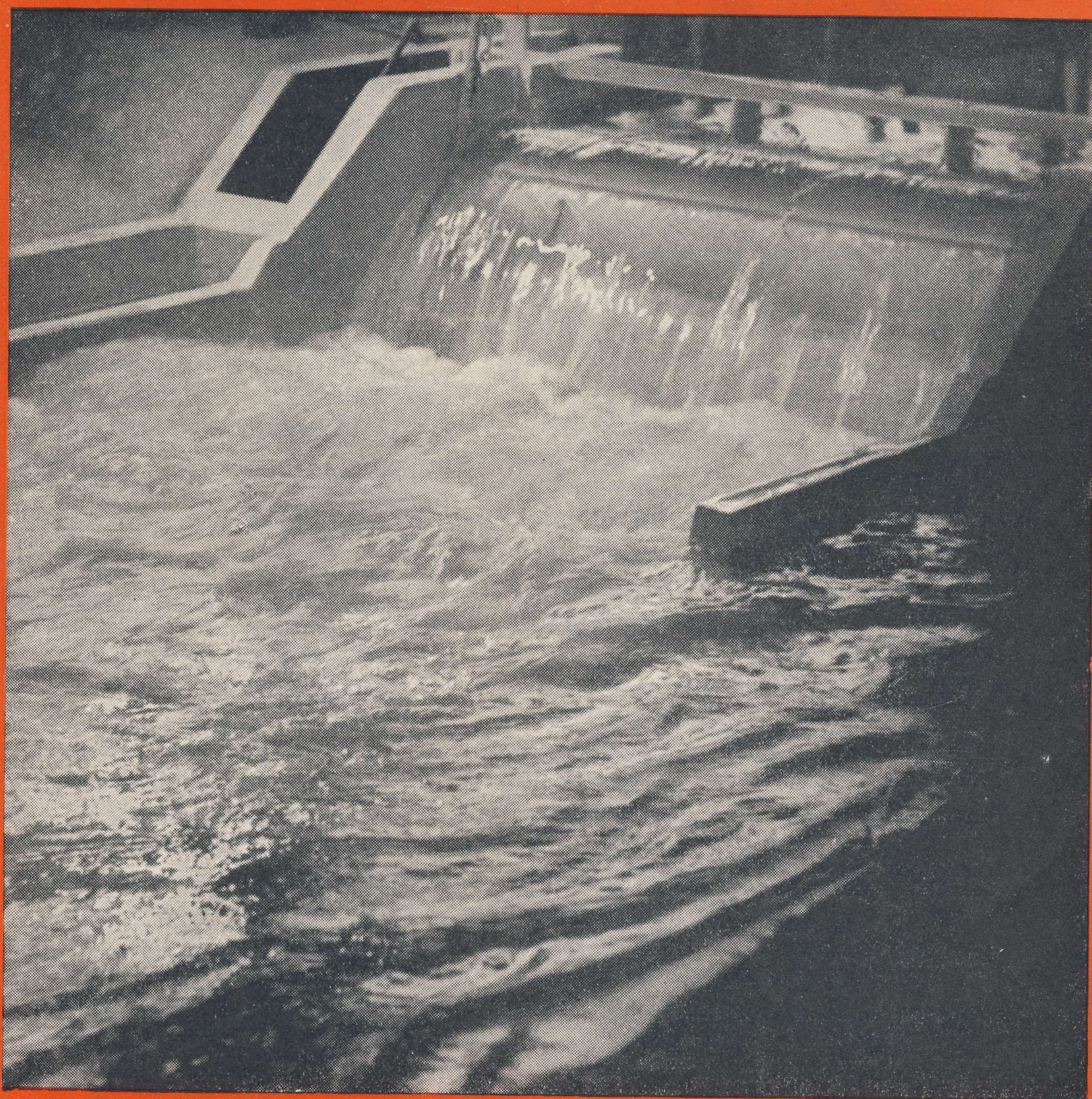
GRAĐEVINAR

ČASOPIS DRUŠTVA GRAĐEVINSKIH INŽENJERA I TEHNIČARA N. R. H.
GODINA VIII POSEBNI BROJ LISTOPAD 1956

SAVJETOVANJE HIDROTEHNIČARA JUGOSLAVIJE ZAGREB



Hidroelektrana Gojak, koju je projektirao »ELEKTROPROJEKT« u Zagrebu nalazi se u punoj izgradnji. Usporna brana na Zagorskoj Mrežnici ispitana je u hidrotehničkom laboratoriju »ELEKTROPROJEKTA«. Ispitivanje je obuhvatilo slapište brane, temeljni ispust, ulazni uređaj, pronos nanosa, brzine vode i konsumpciju preljeva.

»GRAĐEVINAR«

GOD. VIII. POSEBNI BROJ

SAVJETOVANJE HIDROTEHNIČARA JUGOSLAVIJE ZAGREB 1956

Odbor za pripremu savjetovanja:
Predsjednik: Ing. Mišo Bauer
Tajnik: Ing. Milan Mrvoš

Članovi: Ing. Ivan Milković, Ing. Dragutin Greiner, Ing. Srđan Jurković, Ing. Antun Stepinac, Ing. Antun Strmac i Milan Jančiković

Za štampu priredio redakcioni odbor: Ing. Ervin Nonveiller, Ing. Dinko Volarić, Ing. Antun Stepinac, Ing. Raul Sabljak i Ing. Josip Grčić

Tehnički urednik: Ing. Lida Zlatić

Izdanje Društva građevinskih inženjera i tehničara NRH, Zagreb

Tisak »TIPOGRAFIJA« grafičko-nakladni zavod, Zagreb

SUMMARIES — SOMMIRES

GRAĐEVINAR

GOD. VIII. LISTOPAD 1956 POSEBNI BROJ

Savjetovanje hidrotehničara Jugoslavije

ZAGREB 1956.

UVODNA RIJEČ

U Jugoslaviji se do oslobođenja nisu izvodili hidrotehnički radovi u većem opsegu. Manje melioracije i regulacije bile su u nadležnosti državne uprave ovisne o oskudnim budžetskim sredstvima, a rijetke hidroenergetske objekte projektirali su i gradili mahom stranci. Nakon oslobođenja doživjela je i ova grana građevinarstva nagli uspon u vezi s velikim sredstvima koja su investirana u hidroenergetske i u melioracione objekte.

Složenost i veliki opseg zadataka koje su naši tehničari i inženjeri morali savladati zahtijevalo je — za naše prilike — mnogo pionirskog rada. Stvorene su projektne i izvađačke organizacije, koje su oslanjajući se na malobrojna iskustva i teoretsko znanje usavršavala metode rada na tekućim zadacima i postepeno stjecale iskustvo potrebno za rješavanje i najtežih problema u hidrotehničkom projektiranju i građenju. Organizirani su hidrotehnički laboratoriji koji su oslanjajući se na veoma skromna početna iskustva uspjela podići tu granu ispitivanja na zavidnu tehničku visinu i dati znatan doprinos ispravnom oblikovanju i ekonomičnom projektiranju takovih objekata.

U tom plodnom radu nužno se nametala potreba što užeg kontakta između stručnjaka koji su projektirali, gradili i nadzirali izvođenje hidrotehničkih objekata. Tako su u okviru Društva inženjera i tehničara Jugoslavije organizirana savjetovanja hidrotehničke operative, savjetovanja hidrotehničara i savjetovanja stručnjaka za visoke brane. Na tim savjetovanjima diskutirani su zasebno problemi građenja, problemi hidrotehnike i problemi visokih brana i energetskog iskorištenja vode. Prvo savjetovanje hidrotehničke operative održano je na Zvorniku 1952, slijedeća na Vlasini 1953, Mavrovu 1954 i Jablanici 1955. Hidrotehničari su se sastali u Opatiji 1953, a savjetovanja za visoke brane održana su 1950, 1952 i 1954 godine. Sva su ta Savjetovanja i sastanci imali velikog upliva na razvoj hidrotehnike, jer su omogućila svestranu razmjenu iskustava i neposrednu diskusiju problema. Referati objavljeni su dijelom u zasebnim publikacijama, a dijelom u našim stručnim časopisima.

Na savjetovanju u Jablanici preuzelo je Društvo građevinskih inženjera i tehničara Hrvatske organizaciju slijedećeg savjetovanja. Odbor za pripremu savjetovanja smatra, da je za daljnji razvoj i za uspješno ostvarenje budućih velikih zadataka na polju hidrotehnike kod nas neophodno potrebna razmjena iskustava i suradnja između projektanata, izvođača i investitora. U želji da se na ovom savjetovanju u tom smislu rasprave problemi hidrotehničkog građevinarstva u cjelini, stavljena su na dnevni red pitanja projektiranja, građenja i ekonomije.

U cilju da se olakša rad savjetovanja i da se osigura trajna dokumentacija o razmatranim problemima i postignutim rezultatima Odbor je pripremio izdanje prispjelih referata, koji se u ovom posebnom broju Građevinara stavljaju na raspoloženje zainteresiranim stručnjacima.

ODBOR

Uloga i ekonomsko značenje hidroloških, geoloških, geomehaničkih i geodetskih podloga pri projektiranju hidrotehničkih objekata

O VODNOM REŽIMU NERETVE

(uz posebni osvrt na Jablanicu)

Ing. **A. Stepinac,** Elektroprojekt — Zagreb

1. Uvod

Opća elektroenergetska zaostalost predratne Jugoslavije diktirala je poslijeratnoj državi energično i brzo rješavanje ovog problema. Izvanredno bogatstvo neiskorištene hidroenergije pružilo je elektroprivredi velike mogućnosti. Snažni tempo industrijalizacije zemlje uslovljavao je, da se izgradnji hidroelektrana često pristupalo bez dovoljne proučenosti temeljnih hidrografskih, hidroloških i geoloških podloga.

Hidrologija sama po sebi u prvoj fazi poslijeratne izgradnje hidroenergetskih objekata nije mogla dati svagda i u svakom slučaju potrebne veličine, jer je i sama bila kod nas još nedovoljno razvijena, a s druge strane i dobrim dijelom zapuštena. Prema tome su često osnovni hidrološki elementi morali rezultirati iz teoretskih postavki. Razumljivo je, da su se kod toga mogle javljati i veće pogreške. Nije ovo slučaj samo kod hidroelektrana, nego kod vodograđevina općenito. Ovu nesigurnost nastojalo se donekle eliminirati opreznim odabiranjem hidroloških elemenata s motivom »bolje kasnije hidrogradnju proširivati nego gotovu reducirati na normalnu mjeru«. Takovo gledanje ima donekle svoje opravdanje kod izvjesnih vodograđevina kao što su melioracije, regulacije, plovni putevi, dok su naprotiv kod hidroenergetskih objekata okolnosti sasvim druge. Samo pojedini izvedeni objekti često vrlo složenih hidroenergetskih postrojenja mogu za uvijek spriječiti mogućnost proširenja, iako to kasnije hidrološke studije neminovno omogućuju. Kod hidroelektrana trebalo je dakle odmah težiti u punoj mjeri za optimalnim rješenjem, a poslije rata je baš kod ovih objekata bio najsnažniji tempo izgradnje. Dakle, u najvećoj hidrološkoj oskudici, izgradnja najdelikatnijih objekata.

Svrha je ove studije da se na konkretnom primjeru prikaže hidrološka širina s koje treba promatrati izvjestan određeni problem, pa je za tu svrhu odabrana Neretva s osobitim osvrtom na njezin vodni režim u Jablanici.

Neretva — iako energetski i uopće vodoprivredno veoma važan vodotok — nije do sada bila dovoljno hidrološki proučavana. Srednji periodski protoci gotovo na svim sektorima dobivani su znatno previsoki, a u Jablanici su se oni redovito kretali iznad 115 m^3/s. Velike vode rijetkog reda pojavljivanja izražavane su nesigurnim veličinama. Razmotrit ćemo stoga vodne količine Neretve u Jablanici na osnovu svih dosada raspoloživih stvarnih mogućnosti u Jablanici i uz pomoć uzvodnih i nizvodnih ključnih točaka. Prema tome će ova studija obuhvatiti osim Jablanice još i temeljne vrijednosti u Konjicu, Mostaru i Žitomisliću na Neretvi, te na Rami u Slatini. Povezivanjem pojedinih vrijednosti spomenutih ključnih točaka s vrijednostima u Jablanici dobit će se vjerodostojni i čvršći elementi vodnog režima Neretve u Jablanici.

2. Sliv

U cijeloj hidrološkoj problematici Neretve predstavljaju slivne površine značajne teškoće, koje se naročito očituju nizvodno od Jablanice. To je međutim slučaj kod svih krških vodotoka. Sliv Neretve do Jablanice relativno je siguran, osim područja koje pripada slivu Rame. Sliv do Konjica je veoma čvrst, izuzev mali sektor u području Kotlaničkih jezera. Najteže je svakako opredijeliti utjecajne areale nizvodno od Jablanice pa sve do mora. Najveću teškoću, što se toga tiče, pruža Mostar i Metković. Naredna tablica prikazuje veličine slivova kako su oni godinama objavljivani u hidrološkim godišnjacima, zatim veličine kako ih daje ova studija i konačno veličine, koje bi bile potrebne s obzirom na periodske godišnje protoke.

Tablica slivnih površina

Sliv	Površine slivova km²		
	Po hidrološkim godišnjacima	Po ovoj studiji	Potrebne površine
Neretva do Konjica	1458	1378	1378
Rama do Slatine	503	791	860
Neretva do Jablanice	2466	2892	2892
Neretva do Mostara	3119	4255	4740
Neretva do Žitomislića	3707	5828	5828
Neretva do Metkovića		9440	

Prednja tablica pokazuje ogromnu razliku sliva prema hidrološkim godišnjacima i onih veličina, koje su potrebne da udovolje protjecajnim količinama. Veća razlika kod Mostara između površine, koja je potrebna i one, koja je u ovoj studiji određena, pojavljuje se iz razloga, što nije moguće točnije opredijeliti slivove u zoni Duvanjskog polja s desne i Nevesinjske visoravni s lijeve strane.

Po geološko-morfološkim karakteristikama i orografskim osobitostima, sliv gornje Neretve pogoduje snažnim bujičnim tokovima, dok je sliv srednje i donje Neretve pretežno u vapnencima — dakle, u tipičnom krškom području.

Veličine slivova razmotrit ćemo još jednom kod usporedbe sa srednjim periodskim protocima.

3. Oborine

Relativno mali broj kišomjera sa dugogodišnjim opažanjima na širokom području Neretve, ne daje sasvim pouzdan pregled i raspored oborina za duži period godina. Međutim, na temelju izohijetske karte, koja je kritički i studiozno obrađena u Saveznom hidrometeorološkom zavodu za period od god. 1925 do 1940, možemo dobiti dobar uvid u raspored oborina tog perioda. Karta jasno pokazuje mnoge zanimivosti, a među inim znatno niže oborine sliva Rame prema oborinama sliva Neretve do Konjica ili pak prema nizvodnim područjima.

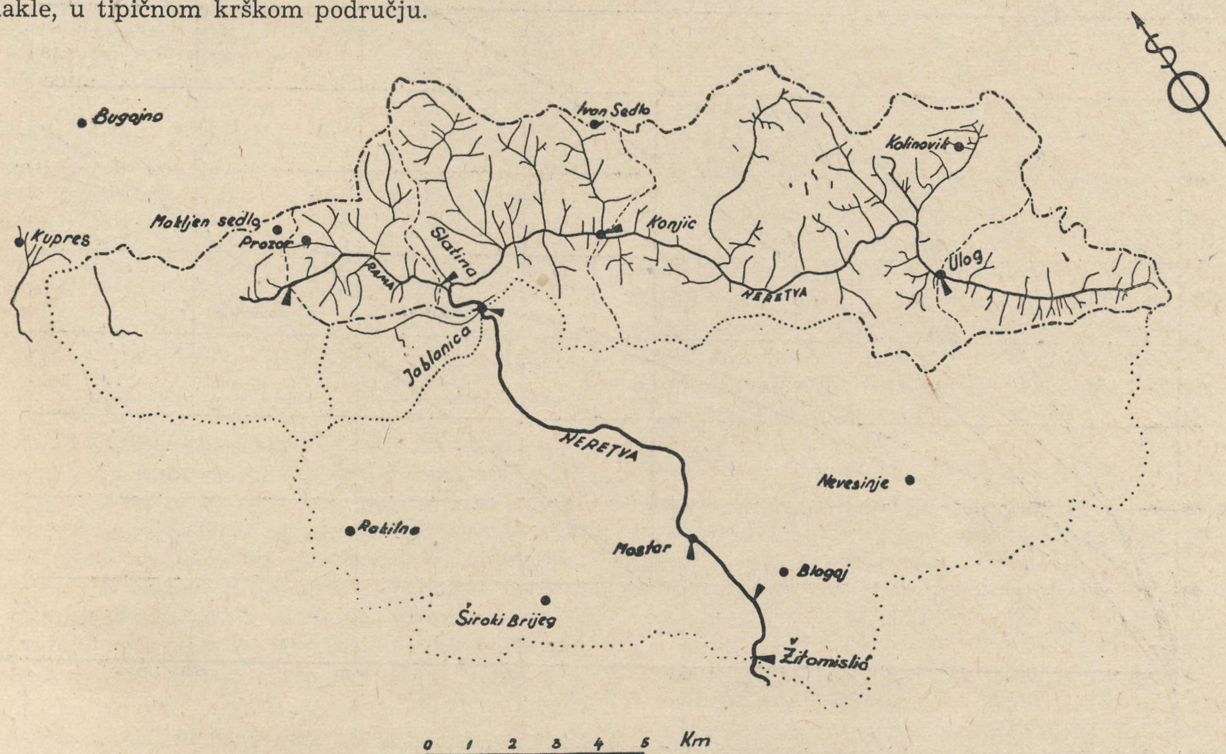
Planinski lanac Dinarida tu izvanredno utječe na raspored oborina. On zapravo razdvaja zone maritimnog i kontinentalnog upliva.

Prema spomenutoj izohijetskoj karti raspored oborina za period god. 1925—1940 je ovaj:

Neretva do Uloga	1590	mm
Neretva do Konjica . . .	1540	„
Rama do Slatine	1380	„
Neretva do Jablanice . . .	1500	„
Neretva do Mostara . . .	1583	„
Neretva do Žitomislića . .	1575	„

4. Protoci

Uvodno je napomenuto, da će se za razmatranje vodnog režima Neretve u Jablanici iskoristiti i podaci ostalih ključnih točaka na Neretvi i Rami. Krivulje konsumpcije računate su Gaussovom me-



Sl. 1 — Sliv Neretve do Žitomislića

todom, koja pruža relativno dobru sigurnost za ekstrapolaciju. Za Neretvu u Jablanici postoje opažanja na jednom vodokazu do 1948, a na drugom od 1949. Zbog toga postoje i dvije krivulje konsumpcije, i to:

do 1948: $Q = 8,482\ h^2 + 71,538\ h + 29,468$,

od 1949: $Q = 10,170\ h^2 + 58,806\ h - 15,090$.

Što se tiče konsumpcije Neretve u Konjicu, treba napomenuti ovo: Analiza malih vodostaja i protoka očito pokazuje tendenciju dizanja dna korita, što je uzrokovano nanosom bujičnog pritoka neposredno u području vodokaza.

Prema mjerenim podacima protoka čini se, da bi za konsumpcione linije trebalo pribjeći rješenju sa čitavim nizom međusobno približno paralelnih linija. Tako se ovaj problem dosada u većini slučajeva i rješavao. Međutim, kod toga je osnovna poteškoća, kada i u kom času prijeći iz jedne konsumpcije u drugu. Toga radi treba u ovom slučaju zauzeti poseban stav, koji počiva na činjenici, da sprudište, koje uzrokuje promjenu dna korita, ne ostaje trajno na nivou na koji je nanešeno. U prvoj fazi ono stvarno osjetljivo mijenja dno korita, ali se s vremenom raznosi, tako da se mijenja i kod manjih protoka, nego što su bili oni kod kojih je sprudište nastalo. Uslijed takovog djelovanja vode ostaje samo maleni dio nanosa, koji s vremenom postaje nepokretan i koji služi za konstantno ali polagano izdizanje dna korita.

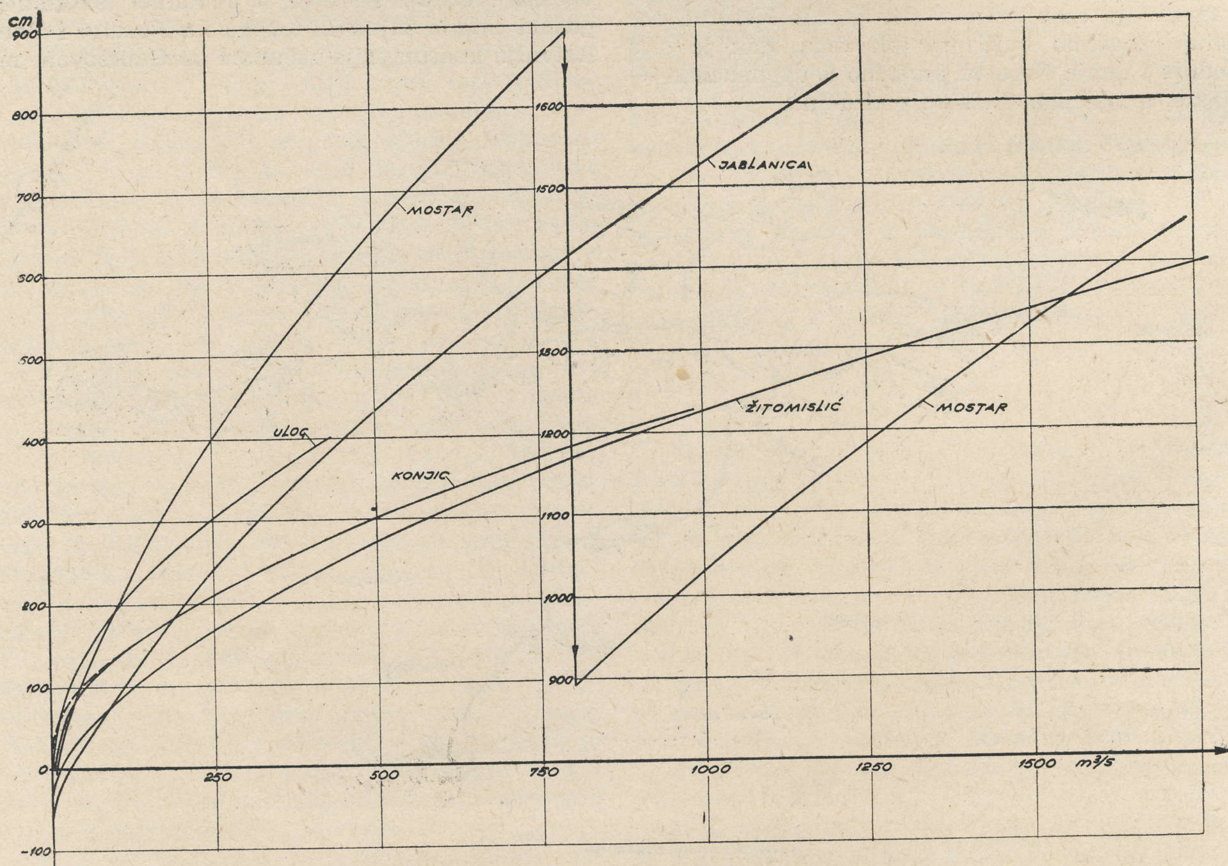
Zbog ovakovog stanja se događa, da su promjene protoka s promjenom korita osjetne kod niskih i srednjih vodostaja, dok se kod visokih vodostaja te promjene ne mogu pravo ni ocijeniti, jer su tu petlje konsumpcione linije najveće, pa kod istog visokog vodostaja mogu nastati protoci sa znatnom međusobnom razlikom. Takav režim Neretve u Konjicu uvjetovao je konstrukciju jedinstvene konsumpcione krivulje za visoke vodostaje, a posebne krivulje za niske i srednje vodostaje. Na taj način dobivena je ova kombinacija:

1. Iznad vodostaja 170:
   $Q = 48,24\ h^2 + 29,01\ h - 25,09$.
2. Od 0—170 za period 1937—1944 i 1953—1954:
   $Q = 63,166\ h^2 - 5,169\ h - 10,125$.
3. Od 0—170 za period 1923—1936:
   $Q = 69,00\ h^2 - 31,8\ h + 15,20$.

Ove tri jednadžbe dobro karakteriziraju režim Neretve u Konjicu što se tiče godišnjih i periodskih protoka, dok kod dnevnih protoka ima otstupanja, koja se ne mogu u pojedinačnim slučajevima uvijek eliminirati.

Za Neretvu u Mostaru usvojena je jednadžba
$Q = 4,597\ h^2 + 48,258\ h - 15,242$,

a u Žitomisliću
$Q = 34,768\ h^2 + 84,422\ h + 10,58$.



Sl. 2 — Konsumpcione krivulje Neretve

Slijed mjerenja protoka pokazuje pravilnost krivulja, pa im se mogao dati i jednostavan matematički oblik. Jedino bi kod Mostara kod sasvim visokih vodostaja mogla nastupiti infleksija, a time i izvjesno povratno stanje krivulje. No krivulja je veoma ispružena, tako da i taj slučaj ne bi imao bitnog upliva na srednji godišnji protočni režim.

Od svih ključnih točaka Neretve najveću postojanost pokazuje profil u Žitomisliću, pa je on sa svojim vrijednostima i usvojen za usporedbu drugih veličina.

Naredna tablica pokazuje srednje godišnje protoke u hidrološkim godinama od 1923/4—1953/4, kako su oni dobiveni na osnovu dnevnih vodostaja.

Br.	Godina	Konjic m³/sek.	Jablanica m³/sek.	Mostar m³/sek.	Žitomislić m³/sek.
1	1923/4	56,6	161,0*	244,1*	264,5
2	1924/5	34,3	72,5	146,9*	145,4
3	1925/6	58,1	148,3*	226,6*	244,5
4	1926/7	48,1	153,1*	208,4*	216,7
5	1927/8	48,3	139,7*	190,2*	196,8
6	1928/9	48,7	156,8*	196,0*	205,2
7	1929/30	41,9	99,1	209,0*	224,4
8	1930/1	42,5	99,3	214,9*	224,9
9	1931/2	47,7	97,5	203,9*	202,6
10	1932/3	37,1	83,2	175,9*	192,3
11	1933/4	40,3	106,0	179,7	210,4
12	1934/5	49,8	113,1	188,3	228,7
13	1935/6	63,2	119,7	215,3	265,2
14	1936/7	62,9	141,0	235,6	283,9
15	1937/8	69,4	105,2	205,0	251,9
16	1938/9	56.6	90,8	175,3	221,7
17	1939/40	64,9	112,7	195,2	242,4
18	1940/1	85,8	146,3	231,2	322,1
19	1941/2	66,6	147,1*	193,9	239,3
20	1942/3	43,5	108,0*	102,4	134,4
21	1943/4	64,2	164,1*	195,1	243,0
22	1944/5	46,5	135,6*	186,4	219,2
23	1945/6	35,1	62,8	113,5	148,8
24	1946/7	49,8	96,9	174,1	211,1
25	1947/8	45,7	115,4	174,9	208,0
26	1948/9	29,8	45,2	95,6	116,7
27	1949/50	41,1	84,0	164,0	190,1
28	1950/1	61,1	143,3	252,1	324,0
29	1951/2	44,9	109,0	175,0	213,6
30	1952/3	75,5	141,6	221,8	300,6
31	1953/4	46,4	88,8	132,4	183,1
		51,9	115,7	187,8	221,8

Ovako dobiveni srednji godišnji protoci u Jablanici i Mostaru nisu svi u dobrom odnosu ni međusobno, a ni prema vrijednostima u Žitomisliću. U korespondentnom odnosu srednjih protoka u Jablanici sa srednjim protocima u Žitomisliću očito se obrazuju dvije grupe. Srednji godišnji protoci iz 9 godina u Jablanici sa oznakom (*) pripadaju jednoj, a za sve ostale godine drugoj grupi.

Treba utvrditi, koja je grupa srednjih godišnjih protoka u Jablanici ispravna, a koja nije. Označit ćemo grupu od 9 godina sa A, a ostalu grupu (22 godine) sa B. Uporeďenje ćemo provesti na osnovu Žitomislića i Konjica

a) na osnovu veličine sliva,
b) na osnovu teoretskih protoka,
c) na osnovu procentualnih odnosa,
d) grafičkim prikazom,
e) korelacijom sa Trebišnicom.

a) Dokaz na osnovu veličine sliva Žitomislić—Jablanica

Sliv Neretve do Žitomislića iznosi 5828 km², a do Jablanice 2892 km². U procentualnom odnosu je sliv do Jablanice 49,6% sliva do Žitomislića.

Srednja protoka grupe A po vodostajima iznosi

u Žitomisliću SQ = 218,18 m³/s,
u Jablanici SQ = 146,00 m³/s.

Srednja vrijednost grupe B po vodostajima iznosi

u Žitomisliću SQ = 223,22 m³/s,
u Jablanici SQ = 103,33 m³/s.

Vidi se, da se vrijednost u Žitomisliću za obje grupe vrlo malo razlikuju (za svega 5,16 m³/s), dok je međusobna grupna razlika u Jablanici znatno veća (42,67 m³/s). Za grupu B je srednja protoka u Jablanici 46,4% one u Žitomisliću. Odnos slivova i protoka je za ovu grupu posve normalan, uzme li se u obzir da su oborine do Jablanice niže nego do Žitomislića. Za grupu A bi srednji protok u Jablanici bio 67% od onoga u Žitomisliću.

Odnos na osnovu sliva Konjic—Jablanica. Sliv Neretve do Konjica ima površinu od 1378 km², a do Jablanice 2892 km². Procentualni odnos Jablanice prema Konjicu je 209%.

Srednji protok grupe A po vodostajima iznosi

u Konjicu . . . SQ = 53,34 m³/s,
u Jablanici . . . SQ = 146,00 m³/s.

Za grupu B je:

u Konjicu . . . SQ = 51,20 m³/s,
u Jablanici . . . SQ = 103,33 m³/s.

Opet se dobiva, da je međusobna razlika u grupama za Konjic neznatna i iznosi 2,14 m³/s. Procentualni iznos protoka u Jablanici za grupu B je 202% od onoga u Konjicu. I ovdje je procentualni odnos površine slivova i protoka u grupi B posve normalan. Ako su grupe A i B u Žitomisliću i u Konjicu međusobno veoma slične, nema razloga da to ne bude i u Jablanici.

b) Odnos u teoretskim protocima

Treba promatrati period god. 1925—1940, jer su nam u tom odsječku poznate oborine, pa će teoretski protoci biti

Konjic:

$$F = 1378 \text{ km}^2;\ h = 1540 \text{ mm};\ C = 0{,}03171;$$

$$m = 1 - \frac{350}{h} = 1 - \frac{350}{1540} = 0{,}773$$

$$SQ = F \cdot h \cdot m \cdot C \cdot 10^{-3} = 1378 \cdot 1540 \cdot 0{,}773 \cdot 0{,}03171 \cdot \cdot 10^{-3} = 52{,}0 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Jablanica: $F = 2892\ km^2$; $h = 1500$; $C = 0{,}03171$;

$$m = 1 - \frac{350}{h} = 1 - \frac{350}{1500} = 0{,}767;$$

$$SQ = 2892 \cdot 1500 \cdot 0{,}767 \cdot 0{,}03171 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{105{,}1\ m^3/s.}}$$

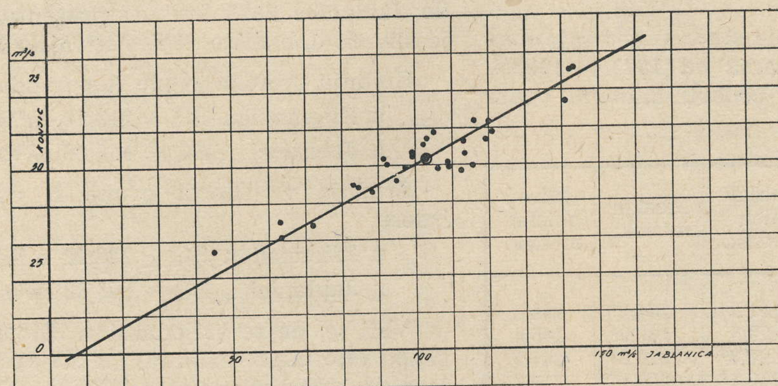
Žitomislić: $F = 5828\ km^2$; $h = 1575$; $C = 0{,}03171$;

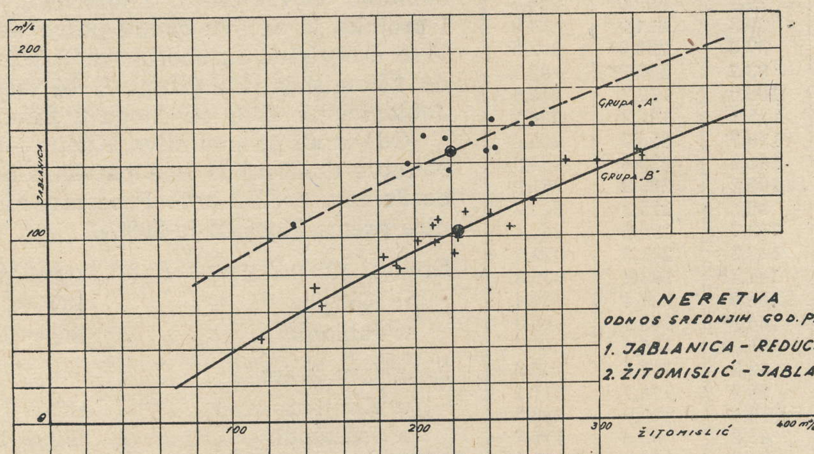
$$m = 1 - \frac{350}{1575} = 0{,}778;$$

$$SQ = 5828 \cdot 1575 \cdot 0{,}778 \cdot 0{,}03171 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{226{,}0\ m^3/s.}}$$

U odnosu na Žitomislić morala bi dakle grupa A u Jablanici imati prosječni protok od 101,2 m^3/s, a ne 146,0 m^3/s, koliko je dobiveno na bazi vodostaja. Prema tome, nužna posljedica ove analize je potreba redukcije svih vrijednosti grupe A u Jablanici.

Smještaj točaka grupe B prema srednjoj liniji korespondencije (sl. 3) pokazuje također izvjesnu disperziju. Da bi se redukcijom vrijednosti grupe A zadržao isti stepen disperzije, ne smije se za sve





Sl. 3 — Korespondentni odnos srednjih godišnjih protoka Jablanica — reducirani Konjic i Žitomislić—Jablanica

U ovom slučaju je srednji teoretski protok u Jablanici 46,4% onoga u Žitomisliću, a to je upravo jednako procentu, koji je dobiven u slučaju grupe B za Jablanicu i Žitomislić. Sa teoretskim protokom u Konjicu je isti slučaj, t. j. teoretski protok u Jablanici je 202% onoga u Konjicu, a to opet točno odgovara grupi B za Jablanicu i Konjic. Iz ova dva slučaja je već sasvim jasno, da su u Jablanici protoci grupe B pravilni, a grupe A nepravilni.

Da bi odnosi u obije grupe bili pravilni, mora postojati razmjer:

Žitomislić B : Žitomislić A = Jablanica B : Jablanica A, t. j. 223,22 : 218,18 = 103,33 : X;

$$X = \frac{218{,}18 \times 103{,}33}{223{,}22} = \underline{\underline{101{,}2\ m^3/s.}}$$

godine provesti redukcija s istim redukcionim faktorom, nego će se od svake godišnje vrijednosti odbiti ista količina ($\triangle Q$) i onda izračunati pojedini redukcioni koeficijenti.

Srednji redukcioni faktor bio bi 0,694. Ako bi se provela linearna redukcija samo s jednim faktorom, dovele bi se reducirane vrijednosti na pravac, što sigurno ne bi bilo pravilno. Pojedinačna redukcija zadržava približno jednaku homogenost svih točaka, čiji je položaj uvjetovan značajkom promjenljivosti korita Neretve, a često i netočnim vodostajima.

Međutim, prosjek većeg niza godina paralizira ove pojedinačne pogreške.

Naredna tablica pokazuje način redukcije veličina grupe A.

Br.	Godina	Protoci u Jablanici po vodost. SQ	△ Q = SQ-101,2 = 44,8 m³/s	Reducirani protoci SQ' m³/s	Faktor redukcije SQ'/SQ
1	1923/4	161,0	44,8	116,2	0,721
3	1925/6	148,3	44,8	103,5	0,699
4	1926/7	153,1	44,8	108,3	0,708
5	1927/8	139,7	44,8	94,9	0.679
6	1928/9	156,8	44,8	112,0	0,675
19	1941/2	147,1	44,8	102,3	0,696
20	1942/3	108,0	44,8	63,2	0,584
21	1943/4	164,1	44,8	119,3	0,728
22	1944/5	136,5	44,8	91,7	0,671

Pribroje li se reducirane vrijednosti grupe A vrijednostima grupe B, dobiva se srednji periodski protok Neretve u Jablanici sa

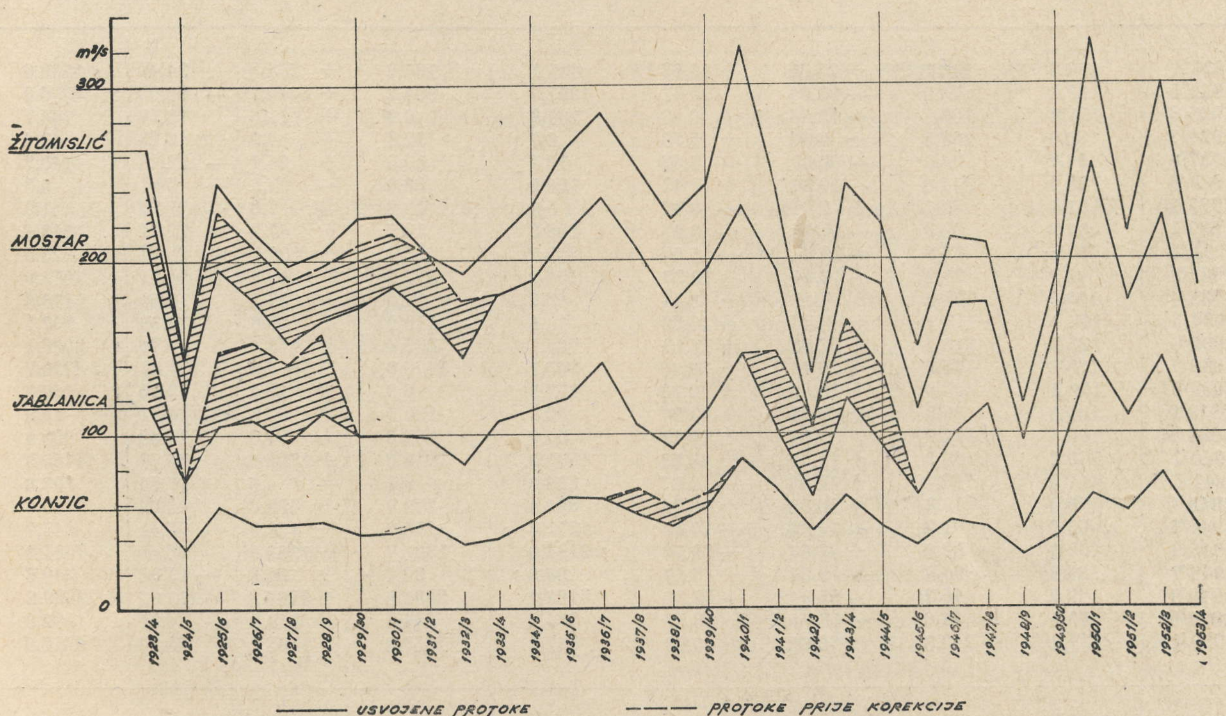
SQ = 102,7 m³/s.

Ova vrijednost predstavlja opet 46,4% protoka u Žitomisliću odnosno 198% protoka u Konjicu, što ukazuje na to, da je redukciju trebalo provesti.

c) Procentualni odnosi

Prikazat ćemo protoke Neretve u Jablanici u procentualnom odnosu prema protocima Neretve u Žitomisliću i Konjicu za razne grupne prosjeke.

Grupa	Žitomislić m³/s	Konjic m³/s	Jablanica m³/s	Jablanica % prema Žitomisliću	Jablanica % prema Konjicu
Grupa A (9 godina)	218,18	53,34	146,00* (101,2)	67,0* 46,4	273,5* 190,0
Grupa B (22 godine)	223,22	51,20	103,33	46,4	202,0
Teoretski SQ 1925-40	226,00	52,00	105,10	46,4	202,0
Stvarno 1925-1940	222,30	50,87	103,60	46,6	203,8
Period 1923/4-1953/4	221,80	51,80	102,70	46,4	198,0



Sl. 5
Tok srednjih godišnjih protoka Neretve u Konjicu, Jablanici, Mostaru i Žitomisliću

Prednja tablica zorno pokazuje, kako srednji protok grupe A u Jablanici veoma snažno otskače prema svim ostalim vrijednostima. Vrijednosti u tablici za Jablanicu pod oznakom (*) su nekorigirane.

d) Grafički prikaz

Na grafikonu, u kojem su prikazani srednji godišnji protoci iz niza od 31 godine za Neretvu u Konjicu, Jablanici i Žitomisliću, opaža se, u kolikoj se mjeri nekorigirane vrijednosti grupe A u Jablanici približuju Žitomisliću odnosno odstupaju od vrijednosti u Konjicu. Šrafirane površine predstavljaju reducirani višak.

e) Korelacija srednjih protoka Neretve u Jablanici sa Trebišnicom u Arslanagiću mostu

Ispravnost dosadašnjih postavki može se vrlo dobro dokazati korelacijom Neretve u Jablanici s Trebišnicom u Arslanagiću mostu. Razlika među srednjim periodskim protocima nije znatna. Rijeka Trebišnica napaja se iz područja, koje je u uskoj vezi sa slivom Neretve. Topografsko-orografski elementi obaju slivova su veoma slični, dok se u geološkom sastavu razlike mogu osjetiti znatnije na dnevnim protocima. Budući da se dnevni protoci ne razmatraju, to ova okolnost ne može imati bitnih utjecaja na korelacioni odnos srednjih godišnjih protoka. Raspored oborina je sličan u oba sliva.

Za račun se može iskoristiti niz od 26 godina, u kojem su sadržane sve kritične godine grupe A.

Srednje kvadratno odstupanje:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\Sigma\,\Delta\,x^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{13055,3}{25}} = 33,84,$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\Sigma\,\Delta\,y^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{14223}{25}} = 23,84.$$

Koeficijent korelacije:

$$r_{xy} = \frac{\Sigma\,\Delta\,x \cdot \Sigma\,\Delta\,y}{\sqrt{\Sigma\,\Delta\,x^2 \cdot \Sigma\,\Delta\,y^2}} = \frac{12363,6}{\sqrt{13055,3 \cdot 14223,1}} = 0,907.$$

A) Elementi x po y.

Koeficijent regresije

$$R_{x/y} = r_{xy} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0,907\,\frac{22,84}{23,84} = 0,87.$$

Jednadžba pravca regresije:

$$x - x_0 = R_{x/y}\,(y - y_0),$$

$$x - 103,57 = 0,87\,(y - 99,14),$$

$$\underline{\underline{x = 0,87\,y + 16,32.}}$$

Godina	Srednji god. protok m³/s Trebišnica u Arslanagića mostu y	Neretva u Jablanici x	Δy=y-y₀	Δx=x-x₀	Δy²=(y-y₀)²	Δx²=(x-x₀)²	Δx . Δy	Δx+Δy	(Δx+Δy)²
1923/4	120,0	116,2	+ 20,86	+ 13,63	435,1	185,8	+ 284,3	34,49	1189,6
1924/5	63,2	73,5	— 35,94	— 30,07	1291,7	904,2	+ 1080,7	— 66,00	4356,0
1925/6	111,8	103,5	+ 12,66	+ 0,93	160,3	0,9	+ 11,8	13,59	184,7
1926/7	100,0	108,3	+ 0,86	+ 5,73	0,7	32,8	+ 4,9	6,59	43,4
1927/8	94,7	94,9	— 4,44	— 7,67	19,7	58,8	+ 34,1	— 12,11	146,7
1928/9	88,8	112,0	— 10,34	+ 9,43	106,9	88,9	— 97,5	— 0,91	0,8
1929/30	101,4	99,1	+ 2,26	— 3,47	5,1	12,0	— 7,8	— 1,21	1,5
1930/1	84,7	99,3	— 14,44	— 3,27	208,5	10,7	+ 47,2	— 17,71	313,6
1931/2	79.2	97,5	— 19,94	— 5,07	389,7	25,7	+ 100,1	— 25,01	625,5
1932/3	86,7	83,2	— 12,44	— 19,37	154,8	375,2	+ 241,0	— 31,81	1011,9
1933/4	106,6	106,0	+ 7,46	+ 3,43	55,7	11,8	+ 25,6	10,89	118,6
1934/5	103,0	113,1	+ 3,86	+ 10,53	14,9	110,9	+ 40,6	14,39	207,1
1935/6	126,8	119,7	+ 27,66	+ 17,13	765,1	293,4	+ 473,8	44,79	2006,1
1936/7	125,6	141,0	+ 26,46	+ 38,43	700,1	1476,9	+ 1016,9	64,89	4210,7
1937/8	109,5	105,2	+ 10,36	+ 2,63	107,3	6,9	+ 27,2	13,00	169,0
1938/9	106,4	90,8	+ 7,26	— 11,77	52,7	138,5	— 85,5	— 4,51	20,3
1939/40	106,5	112,7	+ 7,36	+ 10,13	54,2	102,6	+ 74,6	17,49	305,9
1940/1	140,2	146,3	+ 41,06	+ 43,73	1685,9	1912,6	+ 1795,6	84,79	7189,3
1941/2	117,0	102,3	+ 17,86	— 0,27	319,0	0,1	— 4,8	17,60	309,8
1943/4	128,0	119,3	+ 39,86	+ 16,73	891,6	279,9	+ 499,6	46,59	2170,6
1944/5	84,6	91,7	— 14,54	— 10,87	211,4	118,2	+ 158,0	— 25,41	645,7
1945/6	52,3	62,8	+ 46,84	— 39,77	2194,0	1581,7	+ 1862,8	— 86,61	7501,3
1946/7	89,3	96,9	— 9,84	— 5,67	96,8	32,1	+ 55,8	— 15,51	240,6
1948/9	43,2	45,2	— 55,94	— 57,37	3129,3	3291,3	+ 3209,3	— 113,31	12839,2
1949/50	80,4	84,0	— 18,74	— 18,57	351,2	344,8	+ 348,0	— 37,31	1392,0
1950/1	127,8	143,3	+ 28,66	+ 40,73	821,4	1658,9	+ 1167,3	69,39	4815,0
n = 26	2577,7	2666,8			14223,1	13055,3	12363,6	10,7	52014,9

$y_0 = 99,14$ $x_0 = 102,57$

Srednja pogreška jednadžbe regresije

$$P_x = \sigma_x \cdot \sqrt{1 - r^2_{xy}} = 22{,}84 \sqrt{1 - 0{,}823} = 9{,}36.$$

Vjerojatna pogreška koeficijenta korelacije

$$E_r = \pm 0{,}674 \frac{1 - r^2_{xy}}{\sqrt{n}} = \pm 0{,}674 \frac{0{,}177}{5{,}1} = 0{,}0234.$$

Vjerojatna vrijednost koeficijenta korelacije

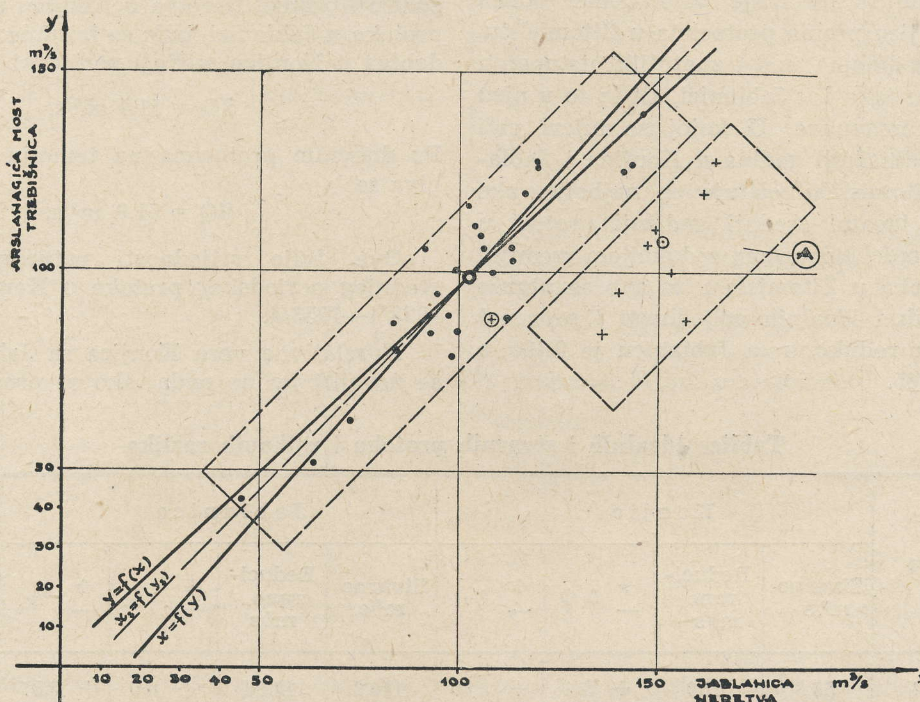
$$r_{xy} = \frac{\Sigma \Delta x \cdot \Sigma \Delta y}{\sqrt{\Sigma \Delta x^2 \cdot \Sigma \Delta y^2}} \pm E_r = 0{,}907 \pm 0{,}0234,$$

$$r_1 = 0{,}9304,$$
$$r_2 = 0{,}8836.$$

Jednadžba srednjeg pravca regresije

$$x = 0{,}87 \quad y + 16{,}32$$
$$0{,}946\,x = \quad y - 2{,}16$$
$$1{,}946\,x + 1{,}87 \quad y + 14{,}16 \,/ : 2$$
$$0{,}973\,x = 0{,}935\,y + 7{,}08$$
$$x = 0{,}96 \quad y + 7{,}27.$$

Korelacioni račun pokazuje vrlo dobar odnos srednjih godišnjih protoka Neretve u Jablanici i Trebišnice u Arslanagiću mostu. Korelacioni



Sl. 4 — Korelacija srednjih protoka Jablanica—Arslanagića most

Granične vrijednosti pogreške koeficijenta korelacije

$$r_{xy} + 4\,E_r = 0{,}907 + 4 \cdot 0{,}0234 = 1{,}00,$$
$$r_{xy} - 4\,E_r = 0{,}907 - 4 \cdot 0{,}0234 = 0{,}813.$$

B) Elementi y po x.

Koeficijent regresije

$$R_{y/x} = r_{xy} \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0{,}907 \cdot \frac{23{,}84}{22{,}84} = 0{,}946.$$

Jednadžba pravca regresije

$$y - y_0 = R_{y/x} (x - x_0),$$
$$y - 99{,}14 = 0{,}946\,(x - 102{,}57),$$
$$y = 0{,}946\,x + 2{,}14.$$

Srednja pogreška jednadžbe regresije

$$P_y = \sigma_y \sqrt{1 - r^2_{xy}} = 23{,}84 \sqrt{1 - 0{,}823} = 9{,}76$$

koeficijent je veoma visok, tako da mu gornja granična vrijednost siže do $r_{xy} = 1$. U našem slučaju nije od presudne važnosti, korelacioni odnos za utvrđivanje protoka jedne od ovih rijeka iz poznatih podataka druge, koliko činjenica, da je ovakav odnos moguć samo u slučaju, ako se usvoje korekcije u grupi A u Jablanici. U protivnom slučaju to nije moguće. U grafičkom prikazu (sl. 4) korelacije Neretva—Trebišnica unesene su vrijednosti grupe A i s nekorigiranim vrijednostima u Jablanici. Sve točke osim jedne imadu potpuno odvojeni položaj prema cjelokupnom nizu.

5. Odnos Konjic—Žitomislić

U ovoj analizi potrebno je svakako razmotriti i odnos protoka Neretve u Konjicu prema Žitomisliću s obzirom na to, da u zoni Konjica korito pati od bujičnih sprudova. Tabelarnim pregledom utvrdit ćemo za iste grupe kao i kod Jablanice procentualni odnos protoka u Konjicu prema onima u Žitomisliću.

Grupa	Žitomislić m³/s	Konjic m³/s	% prema Žitomisliću
Grupa A (9 godina)	218,18	53,34	24,4
Grupa B (22 godine)	223,22	51,20	23,0
Teoretski 1925—1940	226,00	52,00	23,0
Stvarno 1925—1940	222,30	50,87	22,9
Period 1923/4-1953/4	221,80	51,90	23,5

Prednja tablica pokazuje vrlo dobar odnos protoka u Konjicu prema protocima u Žitomisliću. U pojedinim godinama ima i znatnijih otstupanja kako u Konjicu tako i u Jablanici, ali se to u nizu godina dobro izravnava. U kojoj se mjeri vrši promjena pojedinačnih godina u Konjicu i Jablanici prema Žitomisliću, očituje se najbolje, ako se izračunaju idealni srednji godišnji protoci u Konjicu i Jablanici linearnom redukcijom srednjih godišnjih protoka u Žitomisliću, te ako se utvrde razlike stvarnih i idealnih vrijednosti i procenat razlike. Faktor redukcije za Jablanicu je 0,464, a za Konjic 0,2345.

Tablica pokazuje u pojedinim godinama često i znatne razlike stvarnih i idealnih vrijednosti. Na ove slučajeve treba gledati oprezno, jer i u Žitomisliću može biti izvjesnih grešaka u srednjim godišnjim protocima i dnevnim vodostajima. U svakom slučaju razlike u protoku idealnih i stvarnih vrijednosti u Konjicu i Jablanici upućuju na promjenljivost dna korita.

6. Odnos Konjic—Jablanica

Ispravnost periodskog srednjeg godišnjeg protoka u Konjicu može se dokazati i pomoću korigiranih protoka u Jablanici. Ako se idealni srednji godišnji protoci Neretve u Konjicu izvedu pomoću protoka u Jablanici, tada se iz sume tih vrijednosti dobiva u Konjicu srednji periodski protok.

$$SQ = 51{,}4 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Po dnevnim protocima na temelju vodostaja dobiva se

$$SQ = 51{,}9 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Ove dvije vrijednosti potvrđuju ispravnost srednjeg periodskog protoka u Konjicu za niz od 1923/4—1953/4.

Korelativna veza Konjica sa Jablanicom može se usvojiti jedino onda, ako se provede korekcija

Tablica idealnih i stvarnih protoka i njihovih razlika

Broj	Godina	Konjic				Jablanica				Žitomislić
		Stvarno m³/s	Reducirano m³/s	± ΔQ	± %	Stvarno m³/s	Reducirano m³/s	± ΔQ	± %	
1	1923-4	56,6	62,0	+ 5,4	+ 8,70	116,2	122,8	+ 6,6	+ 5,37	264,5
2	1924-5	34,3	34,1	— 0,2	— 0,52	72,5	67,4	— 5,1	— 7,57	145,4
3	1925-6	58,1	57,5	— 0,6	— 1,04	103,5	113,5	+ 10,0	+ 8,81	244,5
4	1926-7	48,1	51,0	+ 2,9	+ 5,68	108,3	100,6	— 7,7	— 7,27	216,7
5	1927-8	48,3	46,2	— 2,1	— 4,55	94,9	91,2	— 3,7	— 4,06	196,8
6	1928-9	48,7	48,2	— 0,5	— 1,04	112,0	95,0	— 7,0	— 7,36	205,2
7	1929-30	41,9	52,8	+ 10,9	+ 20,65	99,1	104,2	+ 5,1	+ 4,81	224,4
8	1930-1	42,5	52,9	+ 10,4	+ 19,65	99,3	104,3	+ 5,0	+ 4.81	224,9
9	1931-2	47,7	47,5	— 0,2	— 0,42	97,5	94,0	— 3,5	— 3,72	202,6
10	1932-3	37,1	45,1	+ 8,0	+ 17,75	83,2	89,0	+ 5,8	+ 6,51	192,3
11	1933-4	40,3	49,2	+ 8,9	+ 18,10	106,0	97,5	— 8,5	— 8,70	210.4
12	1934-5	49,8	53,5	+ 3,7	+ 6,92	113,1	105,8	— 7,3	— 6,91	228,7
13	1935-6	63,2	62,2	— 1,0	— 1,61	119,7	123,0	+ 3,3	+ 2,68	265,2
14	1936-7	62,9	66,6	+ 3,7	+ 6,29	141,0	131,6	— 9,4	— 7,13	283,9
15	1937-8	69,4	58,8	— 10,6	— 18,00	105,2	116,5	+ 11,3	+ 9,69	251.9
16	1938-9	56,6	51,8	— 4,8	— 9,27	90,8	102,5	+ 11,7	+ 11,42	221,7
17	1939-40	64,9	56,8	— 8,1	— 14,25	112,7	112,3	— 0,4	— 0,35	242,4
18	1940-1	85,8	75,5	— 10,3	— 13,75	146,3	149,0	+ 2,7	+ 1,81	322,1
19	1941-2	66,6	56,0	— 10,6	— 18,92	102,3	110,7	+ 8.4	+ 7,59	239,3
20	1942-3	43,5	31,5	— 12,0	— 38,10	63,2	62,4	— 0,8	— 1,28	134,4
21	1943-4	64,2	57,0	— 7,2	— 12,62	119,3	112,6	— 6,7	— 5,95	243,0
22	1944-5	46.5	51,3	+ 4,8	+ 9,35	91,7	101,3	— 9,6	+ 9,46	219,2
23	1945-6	35,1	34,9	— 0,2	— 0,57	62,8	69,0	+ 6,2	+ 9,00	148,8
24	1946-7	49,8	49,5	— 0,3	— 0,60	96,9	97,8	+ 0,9	+ 0,92	211,1
25	1947-8	45,7	48.9	+ 3,2	+ 6,53	115,4	96,5	— 8,9	— 9,22	208,0
26	1948-9	29,0	27,4	— 1,6	— 5,83	45.2	54,1	+ 8,9	+ 16,45	116,7
27	1949-50	41,1	44.5	+ 3,4	+ 7,63	84,0	88.1	+ 4,1	+ 4,65	190,1
28	1950-1	61,1	76,0	+ 14,9	+ 19,63	143,3	150 0	+ 6,7	+ 4,47	324,0
29	1951-2	44,9	50,1	+ 5,2	+ 10,40	109,0	99,0	— 10,0	— 10,10	213,6
30	1952-3	75,5	75,5	± 0,0	± 0,00	141,6	149,5	— 7,9	+ 5,30	300,6
31	1953-4	46,4	43,0	— 3,4	— 7,91	88,8	85,0	— 3,8	— 4,47	183,1

vrijednosti grupe A u Jablanici. Za taj slučaj dobivaju se ovi korelativni elementi:

Koeficijent korelacije $r_{xy} = 0{,}73 \pm 0{,}057$.

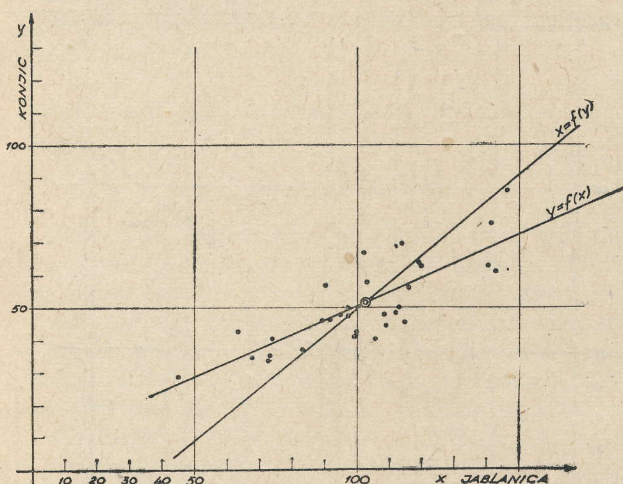
Jednadžba pravca regresije x po y:

$$x = 1{,}24\,y + 38{,}47.$$

Jednadžba pravca regresije y po x:

$$y = 0{,}432\,x + 7{,}13.$$

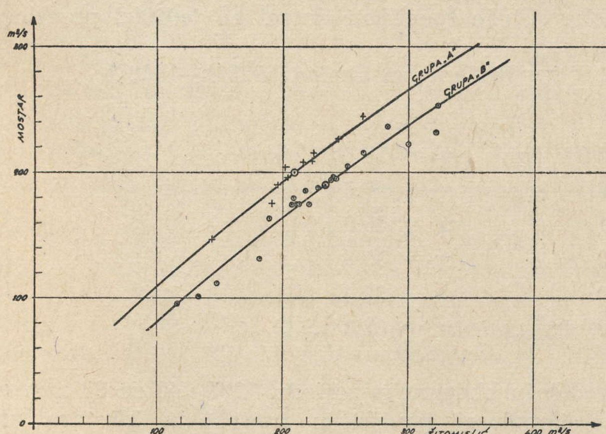
Korelativni račun je proveden za linearni odnos. Kvadrat korelacionog koeficijenta pokazuje, u kojem procentu je jedna varijabla sadržana u drugoj. U slučaju Jablanica—Konjic kvadrat korelacionog koeficijenta je 0,533, a to bi značilo, da Neretva u Konjicu doprinosi 53% ukupnog protoka u Jablanici. Ostalih 47% otpada na doprinos ostalog sliva. Ovaj procentualni utjecaj nije posve točan naprosto iz razloga, što stvarna korelacija nije strogo linearna.



Sl. 6
Korelacija protoka Neretve u Konjicu i Jablanici

7. Odnos Mostar—Žitomislić

Korespondentni odnos protoka Žitomislić—Mostar pokazuje kao i kod Jablanice dvije izrazite grupe, i to tako, da godine od 1923/4—1932/3 pripadaju jednoj, a sve ostale godine drugoj grupi.



Sl. 7
Korespondentni odnos protoka Neretve: Žitomislić—Mostar

Ukazuje se potreba redukcije za približno 32,0 m³/s. Ta je redukcija provedena na sličan način kao i kod Jablanice.

Naredna tablica prikazuje protoke u Mostaru za prvih 10 godina po vodostajima kao i korigirane vrijednosti.

Br.	Godina	Mostar m³/s		Žitomislić m³/s
		Po vodostajima	Korigirano	
1	1923/4	244,1	(210,5)	264,5
2	1924/5	146,9	(116,2)	145,4
3	1925/6	226,6	(197,0)	244,5
4	1926/7	208,4	(179,1)	216,7
5	1927/8	190,2	(153,0)	196,8
6	1928/9	196,0	(166,5)	205,2
7	1929/30	209,0	(173,2)	224,4
8	1930/1	214,9	(185,5)	224,9
9	1931/2	203,9	(169,8)	202,6
10	1932/3	175,9	(146,3)	192,3

Korigirane vrijednosti (prvih 10 godina) s onim nekorigiranim (21 godina) daju srednji periodski protok za 31 godinu

$$SQ = 177{,}6 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Po grupama bi bili ovi odnosi:

Žitomislić:

grupa A (10 godina) . . SQ = 211,3 m³/s,
grupa B (21 godina) . . SQ = 226,6 m³/s.

Mostar:

grupa A nekorigirano . SQ = 201,6 m³/s,
korigirano . . SQ = 169,7 m³/s,
grupa B . . . . . . SQ = 181,2 m³/s.

Ako se ne bi provela redukcija protoka u Mostaru, tada bi razlika među grupama A u Mostaru i Žitomisliću bila svega 10,3 m³/s, a među grupama B 45,4 m³/s, dok je razlika u površini sliva 1088 km². Ovoj površini sigurno mnogo bolje odgovara protok od 45,4 m³/s.

S obzirom na redukciju provedenu u Jablanici i Mostaru, postavlja se potpuno opravdano pitanje, nije li zapravo trebalo izvršiti korekciju u Žitomisliću. Ovo se ne može usvojiti s više razloga:

a) Iz diagrama korespondentnih odnosa Žitomislić—Jablanica i Žitomislić—Mostar vidi se, da bi trebalo protoke grupe A u Žitomisliću veoma mnogo povećati, da bi se dobila jedinstvena grupacija točaka.

b) Odnos površina slivova i srednjih protoka pokazuje upravo stanje kako je dosadašnjom analizom utvrđeno. Ako bi se povećao Žitomislić, došlo bi se do takovih srednjih protoka, koji bi još jače povisili i onako visoke otjecajne koeficijente, jer povećanje sliva — koje bi udovoljilo takovim protocima — nije moguće.

c) Teoretski srednji protoci se vrlo dobro slažu sa stvarnim vrijednostima.

d) Konačno, korelacija sa stranim slivom također pokazuje neminovnu potrebu redukcije protoka na Neretvi u Jablanici.

8. Problem Rame

Rama se može razmatrati samo u sklopu Jablanice i Konjica, za koje su utvrđeni proticajni odnosi. Sliv Rame do Slatine utvrđen je sa 791 km², a visina oborine za period 1925—1940 sa 1380 mm.

Za ovaj period stvarni protoci su ovi:

Neretva u Konjicu	51,0 m³/s,
Rama u Slatini po vodostajima	36,9 m³/s,
Neretva u Jablanici	103,9 m³/s.

Teoretski protoci bili bi:

Neretva u Konjicu	51,9 m³/s,
Rama u Slatini	25,9 m³/s,
Neretva u Jablanici	105,1 m³/s.

Odbije li se od sliva Neretve u Jablanici sliv do Konjica i sliv Rame do Slatine, ostao bi sliv od 713 km², čiji bi teoretski srednji protok bio

$$SQ = 24,8 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Ako se ovaj protok pribroji protoku u Konjicu i suma odbije od Neretve u Jablanici, dobiva se ono što bi morala imati Rama u Slatini:

$$SQ = 105,1 - (51,9 + 24,8) = 105,1 - 76,6 = $$
$$= 28,4 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Teoretski srednji protok Rame za sliv od 791 km² iznosi 25,9 m³/s. Da bi se teoretski dobio protok od 28,4 m³/s, morala bi slivna površina iznositi 860 km². Da bi se na Rami u Slatini udovoljilo periodskom protoku od 36,9 m³/s, morala bi Rama imati sliv od približno 1140 km², uz istu visinu oborine. Takova površina ne može se za Ramu pronaći, da se baš pripoji i cijelo Riličko i Kupreško polje sa Mrtvicom, Šujičko polje i dio Duvanjskog polja. S obzirom na analizirane srednje protoke Neretve u Konjicu, Jablanici i Žitomisliću može se periodski srednji protok Rame u Slatini odrediti približno i grafički (sl. 8).

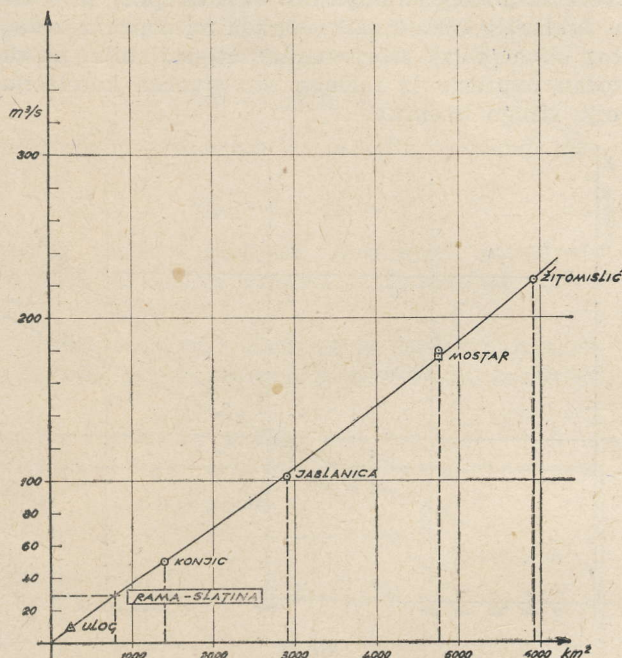
Diagram pokazuje, da bi periodski srednji protok Rame u Slatini morao biti oko 28,5 m³/s za sliv blizu 800 km². Za Ulog na Neretvi diagram pokazuje protok od 9,5 m³/s, dok teoretski protok iznosi 9,6 m³/s.

Utvrđeno je, da Rama u Slatini zadaje teškoća zbog promjenljivosti korita, zbog izvjesnih uspora Neretve i netočno čitanih vodostaja. Budući da se s povećanjem slivne površine ne može udovoljiti protoku od 36,9 m³/s, to slijedi nužni zaključak, da je taj protok previsok, a to znači, da za Ramu treba usvojiti srednji periodski protok god 1925—1940 sa

$$SQ = 28,5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Za period od 1923/4—1953/4 bio bi srednji protok u odnosu na Jablanicu

$$SQ = 28,2 \text{ m}^3/\text{s}.$$



Sl. 8
Odnos srednjih protoka Neretve i veličine sliva

9. Srednji specifični dotoci

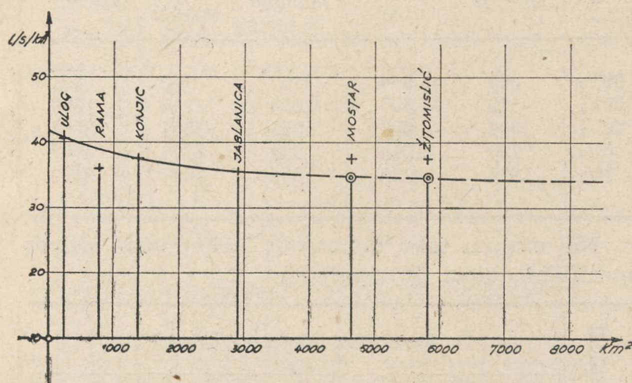
Prema veličini slivnih površina i srednjih protoka slijede specifični dotoci po jedinici površine

$$q = \frac{Q}{F} \text{ lt/s/km}^2 \text{ za period 1923/4—1953/4}$$

a) Neretva Ulog . .	F = 245,6 km²	q = 38,8 lt/s/km²
b) Neretva Konjic .	F = 1378 „	q = 37,6 „
c) Rama Slatina .	F = 791 „	q = 35,6 „
d) Neretva Jablanica	F = 2892 „	q = 35,5 „
e) Neretva Mostar .	F = 4740 „	q = 37,4 „
f) Neretva Žitomislić	F = 5828+80 „	q = 37,3 „

Upada u oči povećanje specifičnog dotoka od Jablanice prema Žitomisliću umjesto da je obratno. No treba napomenuti da su srednje godišnje oborine nizvodno od Jablanice veće nego do same Jablanice. Tako ima sliv Neretve do Mostara višu godišnju oborinu u periodu 1925—40 za 83 mm a to doprinosi povećanju protoke u Mostaru za 11,4 m³/s odnosno povećanju specifičnog dotoka za 2,4 lt/s/km². Ovi se odnosi vrlo dobro primjećuju na diagramu (sl. 9).

Ako bi na pr. u Mostaru visina oborine bila upravo koliko i u Jablanici tada bi se dobio specifični dotok od 35,0 lt/s/km² što je već niže nego u Jablanici a to je i težnja k normalnom stanju t. j. da specifični dotoci sa povećanjem sliva padaju. Slična pojava je i kod Žitomislića.



Sl. 9

Odnos srednjeg specifičnog dotoka Neretve prema veličini sliva

10. Čvorište Metković

Neposredno nizvodno od Žitomislića pa do ušća u more obrazovan je donji tok Neretve. Veličinu sliva naročito nizvodno od Gabele nije više moguće suvislo odrediti. Uplivi pojedinih slivova su takovi da samo djelomično davaju svoje vode Neretvi. Ostali dio komunicira neposredno s Jadranskim morem. Prema tome veličine slivova za taj dio Neretve može se određivati samo fiktivno, na osnovu rasporeda oborina, teoretskih i stvarnih protoka.

Kod Metkovića osjeća se znatan upliv plime i osjeke mora naročito kod niskih protoka. Radi te okolnosti nije moguće običnim putem na osnovu dnevnih vodostaja i jedinstvene konsumpcione linije odrediti pravi srednji godišnji protok. Moguće je to jedino na bazi srednjih dekadnih ili srednjih mjesečnih (za male vode) vodostaja, jer se tu upliv mora donekle izjednačuje.

Za period od 1924/5 do 1939/40 utvrđena je navedenim putem srednji protok kod Metkovića sa

$$SQ = 355 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Visina oborine utvrđena je približno sa 1530 mm. Teoretski otjecajni koeficijent za ovu oborinu bio bi 0,77. Na temelju tih elemenata dobivena je približna srednja površina sliva Neretve do Metkovića sa F = 9440 km² uz pretpostavku, da je protok od 355 m³/s upravo jednak onom, koji bi se dobio teoretskim putem. Tu se normalno krije izvjesna pogreška koju zanemarujemo iz razloga, što veličina sliva u Kršu sama po sebi nije posve čvrsta a i dekadni vodostaji ne daju uvijek vjernu sliku protoka.

Usvoji li se za period 1924/5—1939/40 srednji protok sa 355 m³/s tada bi za period od 1923/4—1953/4 bio srednji protok u odnosu na Žitomislić ili Mostar:

$$SQ = 349 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Ovaj protok dao bi specifični dotok od

$$q = 36,9 \text{ lt/s/km}^2$$

Ovakove vrijednosti Neretve u Metkoviću iako dobro odgovaraju u odnosu na ostale ključne točke treba još smatrati samo orijentacionim, dok se ne provedu detaljnja ispitivanja.

11. Zaključni pregled srednjih osnovnih veličina

Vodotok	Sliv km²	Period 1924/5—1939/40				1923/4—1953/4	
		Oborina mm	Protok m³/s	Otjecanje u %	q lt/s/km²	Protok m³/s	q lt/s/km²
Neretva do Uloga	245,6	1590	9,6	76,8	38,9	9,5	39,8
Neretva do Konjica	1378	1540	50,87	75,5	36,9	51,9	37,6
Rama do Slatine	791 + 69	1350	28,50	75,0	36,9	28,2	35,6
Neretva do Jablanice	2892	1500	103,9	75,4	35,9	102,7	35,5
Neretva do Mostara	4740	1583	180,0	75,6	37,9	177,5	37,4
Neretva do Žitomislića	5828 + 80	1575	222,30	75,1	37,6	221,8	37,3
Metković	9440	1530	355,0	77,0	37,5	349,0	36,9

Razmatrajući tablicu osnovnih veličina, potrebno je ponovno osvrnuti se na veličine slivova. Za protok Rame u Slatini od 28,4 m³/s je sliv od 791 km² premalen da bi udovoljio otjecajnoj vrijednosti od 75%. Ta okolnost napomenuta je i kod razmatranja problematike Rame s time, da bi bila potrebna površina od 860 km². Kod Žitomislića se također osjeća izvjestan manjak, pa bi povećanje sliva za 80 km² također bolje odgovaralo dobivenim otjecajnim vrijednostima. Kod Metkovića je veličina otjecajnog sliva određena teoretski, pa se definitivni sud o toj vrijednosti ne može dati bez dopunskih studija.

12. Male vode

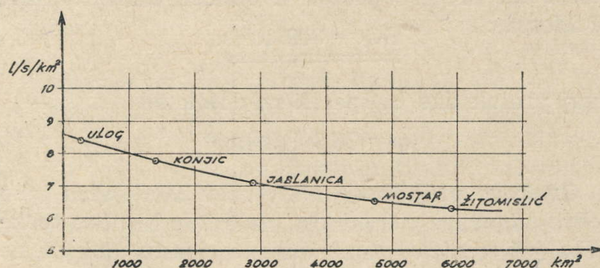
Promjenljivost korita Neretve od njenog izvorišta do Jablanice i nizvodno onemogućava stvaranje prave slike o ređanju malih voda. Često i veoma neznatne promjene korita poremećuju sliku malih voda, a konsumpcione krivulje za sve te slučajeve zaista nije moguće uskladiti. Mini-

malni vodostaji pojavljuju se redovito od VIII—X mjeseca. Često se dobivaju minimalni protoci veće uzvodno nego nizvodno, što ne treba u Kršu nipošto smatrati neprirodnom pojavom, ali obzirom na stanje korita Neretve to nije normalno.

Za šest odabranih ključnih točaka relativno najbolji međusobni odnos malih protoka pokazuju Konjic i Žitomislić. Kod Konjica je za male vode rekonstruirana konsumpciona krivulja, pa je ta okolnost pogodno djelovala bar na izvjestan dio pravilnosti malih voda. Uvid u prosjek minimalnih voda može se dobiti, ako se taj prosjek iz niza od 31 godine računa na bazi Žitomislića. Po takovom gledanju dobiva se:

u Žitomisl. sQ_{min} = 36,6 m³/s : q = 6,3 lt/s/km²
u Mostaru „ = 30,8 „ : q = 6,5 „
u Jablanici „ = 20,5 „ : q = 7,1 „
u Konjicu „ = 12,3 „ : q = 7,8 „
u Ulogu „ = 2,06 „ : q = 8,4 „

Diagram (sl. 10) prikazuje odnos srednjeg minimalnog specifičnog dotoka i veličine sliva. S obzirom na više srednje godišnje oborine za Mostar i Žitomislić, trebali bi i srednji minimumi malih protoka uzvodnih stanica biti nešto niži.



Sl. 10
Specifični dotok prosječnih minimalnih protoka

13. Velike vode

Učestalost velikih voda raznog reda pojavljivanja je sam po sebi problem, koji je u našim uslovima još i znatno teži, jer nema redovito dovoljnog niza opažanja, a i sami visoki vodostaji su često zbog jednokratnog dnevnog čitanja nesigurni. Nestašica limnigrafskih stanica se ovdje svakako znatno osjeća.

U slučaju Neretve ima doduše na svim stanicama dovoljan broj godišnjih maksimalnih vodostaja, na osnovu kojih bi morali biti prilično sigurni koeficijenti varijacije, ali je mnogo teže osloniti se na koeficijente asimetrije, koji postizavaju znatniju sigurnost kod velikog niza godina (70).

Na osnovu raspoloživog niza prilično sigurnost ređanja velikih voda pokazuje Konjic, Žitomislić i Metković, pa ćemo se osloniti na ove podatke i po diagramima specifičnih dotoka izvršiti izvjesne korekcije.

U ovoj se studiji zbog skučenog prostora ne iznose sve potrebne računske operacije, već jedino gotove vrijednosti. Red pojava velikih voda razmatramo do 100 godišnje velike vode. Po računu, a prema raspoloživim podacima, dobivene su ove velike vode:

Učestalost	Protok m³/s				
	Konjic	Jablanica	Mostar	Žitomislić	Metković
99%	269	344	757	760	821
50%	379	506	1054	1313	1780
20%	504	668	1259	1531	2162
5%	729	940	1538	1744	2507
1%	1074	1335	1864	2507	2804

Na osnovu tako dobivenih vrijednosti slijede specifični dotoci (lt/s/km²).

Učestalost	Specifični dotok lt/s/km²				
	Konjic	Jablanica	Mostar	Žitomislić	Metković
99%	195	119	160	129	87
50%	265	175	223	222	188
20%	365	236	265	260	229
5%	529	325	324	295	265
1%	779	462	351	327	297

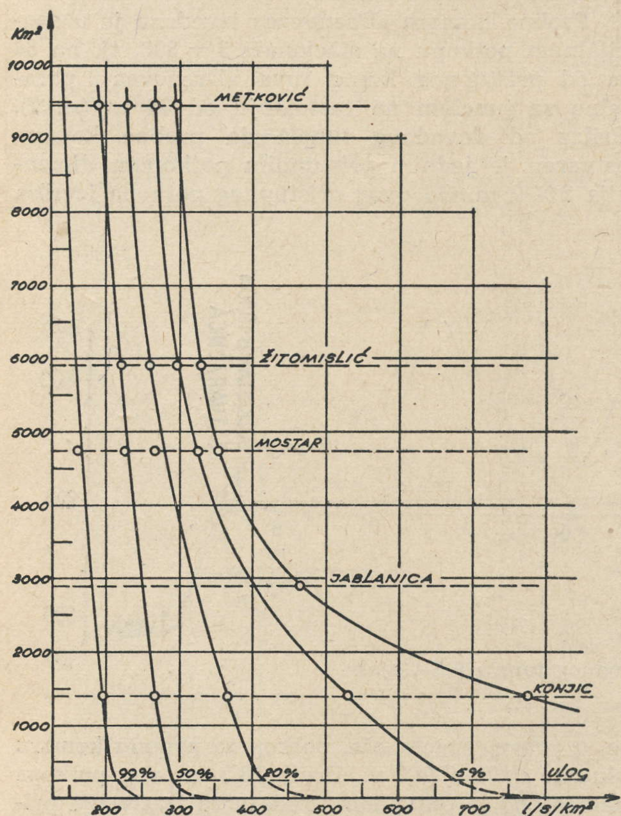
U diagramu specifičnog dotoka velikih voda (sl. 11), za 100 godišnji red pojavljivanja, sve stanice imadu suvisli položaj. Kod velikih voda češćeg reda pojavljivanja nastaju odstupanja, koja se najjače zapažaju kod Jablanice i Mostara. Toga radi su na temelju diagrama izvršene korekture specifičnih dotoka. Vrijednosti u zagradama su korigirane.

Učestalost	Specifični dotok lt/s/km² s korekturama				
	Konjic	Jablanica	Mostar	Žitomislić	Metković
99%	195	119(180)	160(168)	129(160)	87(140)
50%	265	175(250)	223(232)	222	188
20%	365	236(320)	265(292)	260	229
5%	529	325(400)	324(320)	295	265
1%	779	462(465)	351	327	297

Iz korigiranih specifičnih dotoka slijede ove velike vode:

Učestalost	Protok velike vode u m³/s				
	Konjic	Jablanica	Mostar	Žitomislić	Metković
99%	269	(520)	(796)	(946)	(1320)
50%	379	(722)	(1098)	1313	1780
20%	504	(925)	(1381)	1531	2162
5%	729	(1156)	(1512)	1744	2507
1%	1074	(1345)	1864	1933	2804

Kod ovakovog načina razmatranja velikih voda treba imati dobro pred očima, da su ovdje protoci istog reda pojavljivanja međusobno vezani, što nipošto ne mora biti slučaj. Naime, kod relativno



Sl. 11
Diagram specifičnih dotoka velikih voda Neretve

malih slivova može se pojaviti protok vrlo rijetkog pojavljivanja, a da on u nizvodnom toku uopće ne izazove neki naročiti povodanj. Tako na pr. 100-godišnja voda u Konjicu ne mora u nizvodnom toku premašiti ni 5-godišnju veliku vodu. Prema tome dobivene vrijednosti treba promatrati s takovog stanovišta.

Zaključak

Ovom studijom obuhvaćene su srednje godišnje i periodske vrijednosti te velike i male vode vodnog režima sliva Neretve, s osnovnom svrhom da se ukaže na nerealne veličine na pojedinim ključnim točkama — naročito u Jablanici, gdje se nalazi najveća hidroelektrana u državi. Utvrđeno je, da protoci Neretve u Jablanici ne mogu biti tako visoki, kako su dosada uzimani. Periodski srednji protok, koji se najviše približava protoku dobivenom po ovoj studiji iznosi 115 m³/s. Prema tome razlika je

$$115 - 102{,}7 = 12{,}3 \text{ m}^3/\text{s} = 12\%,$$

a to predstavlja količinu od blizu 400 hm³ vode godišnje, koja se u Neretvi ne pojavljuje.

Projektirani instalirani protok H. E. Jablanica je 160 m³/s, ali je pogonska mogućnost i 200 m³/s. Bez obzira na redukciju stvarnih protoka, a s obzirom na akumulacioni prostor, ove se vrijednosti nalaze u zoni optimalnih mogućnosti. Treba istaknuti, da su otjecajni koeficijenti duž cijelog toka Neretve relativno visoki. To se može uočiti i u odnosu na Cetinu. Stanoviti utjecaj mogu imati svakako i nesigurne površine krških slivova. Činjenica je međutim, da su otjecajni koeficijenti i specifični dotoci s obzirom na raspored oborina u međusobno dobrim odnosima, pa nigdje nema neprirodnih skokova.

Širina, s koje je razmatran ovaj problem, neophodna je posljedica ne samo heterogenosti sliva nego i hidrološke nužde, da svaki hidrološki problem treba obuhvatiti cjelovito. Parcijalna rješavanja ne dovode do dovoljne sigurnosti.

ISPITIVANJE STENE U DOVODNOM TUNELU HIDROELEKTRANE GOJAK

Ing. **Branislav Kujundžić,** Hidrotehnički institut »Ing. Jaroslav Černi«, Beograd

Hidroelektrana Gojak, kraj Ogulina, postrojenje je derivacionog tipa koje koristi vode Zagorske Mrežnice i Ogulinske Dobre. Reka Mrežnica se zahvata kod mesta Sabljaki jednom kombinovanom betonskom i zemljanom branom, a reka Dobra kod Bukovnika betonskom branom i zapornicom. Uz samu branu Bukovnik nalazi se ulazna građevina koja uvodi vodu Dobre u dovodni tunel koji, na tom mestu, prolazi kroz temelje brane. Ukupna količina vode koja se koristi iznosi $Q_i = 50$ m³/sec na neto padu od $H_m = 118$ m, sa instalisanom snagom od 50 MW.

Dovodni tunel je projektovan sa kružnim poprečnim presekom. Prečnik tunela iznosi 4,5 m do stacionaže 9 + 410, na kojoj se nalazi vodostan ⌀ 10,0 m. Na delu od vodostana do zatvaračnice, koja se nalazi na stacionaži 9 + 575, tunel ima prečnik 4,0 m (sl. 1). Cela tunelska trasa položena je u trijaskim i jurskim dolomitima i jurskim i krednim krečnjacima.

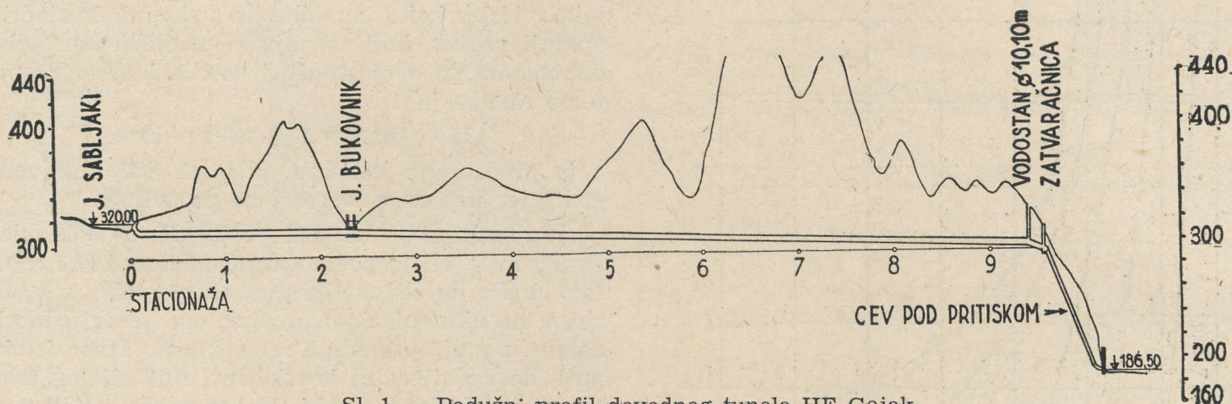
U cilju određivanja modula elastičnosti stene izvršeno je ispitivanje u probnoj komori »Drenovac«. Pored ovog ispitivanja po metodi probne komore programom je predviđeno ispitivanje modula elastičnosti stene po metodi tlačnog jastuka [1] na nekoliko mesta duž tunelske trase. Jedan tlačni jastuk bi se locirao u samoj probnoj komori, tako da bi se dobila direktna veza između vrednosti modula elastičnosti stene dobijene po obe metode.

Pored modula elastičnosti u probnoj komori »Drenovac« je izvršeno i ispitivanje propustljivosti za vodu kao i stepena anizotropije stene.

Sve vrednosti dobijene terenskim ispitivanjima služe kao podloga za konstruisanje i statički proračun betonske obloge dovodnog tunela koja je projektovana uz osnovnu pretpostavku da obloga i stena sadejstvuju u primanju unutarnjih hidrostatičkih pritisaka.

Probna komora i rezervoar za vodu izvedeni su u posebnim potkopima, van tunelskog profila, da se ne bi ometao normalan tok radova na probijanju tunela. Pored toga, probna komora i rezervoar treba da posluže za kasnije sistematsko ispitivanje uticaja temperaturskih promena na naponsko stanje u steni i oblozi tunela pod pritiskom uopšte, što je takođe predviđeno opštim programom ispitivanja. Ova naknadna ispitivanja mogu da se vrše sve do potpunog završetka radova na betoniranju tunelske obloge, odnosno do završetka radova u tunelu.

Sastavljanje programa ispitivanja, kao i izbor lokacije za probnu komoru, izvršeno je u tesnoj saradnji sa preduzećem »Elektroprojekt« iz Zagreba u kome se radi projekat hidroenergetskog postrojenja Gojak, a posebno sa glavnim inženjerom projekta Ing. Raulom Sabljakom. Ispitivanje je izvršeno od strane Odeljenja za hidrotehničke konstrukcije Hidrotehničkog instituta »Ing. Jaroslav Černi« prema projektu i pod rukovodstvom autora, uz učešće: Ing. B. Čolića, Ing. Ž. Radosavljevića, Ing. M. Stojakovića, tehn. D. Bećira, tehn. Ž. Rajkovića i laboranata Z. Jezdovića i R. Zorića. Građevinske radove je izvelo preduzeće »Hidroelektra« uz punu podršku i pomoć glavnog inženjera nadzora Ing. Najmana i tehn. Stipaničića.



Sl. 1 — Podužni profil dovodnog tunela HE-Gojak

Dispozicija ispitivanja

Metoda probne komore sastoji se u tome što se deo tunela ili, u tom cilju specijalno izrađeni potkop, napuni vodom i pomoću jednog pumpnog uređaja — stalnim ubacivanjem vode u komoru — stavi pod unutarnji hidrostatički pritisak. Pri tome se mere odgovarajuće deformacije stene kao i količina vode koja se gubi kroz zidove komore. Izmerene deformacije služe za određivanje modula elastičnosti, a izmerena količina vode koja se gubi kroz zidove komore za određivanje stepena propustljivosti stene za vodu.

Probna komora »Drenovac« izvedena je u specijalnom potkopu na stacionaži 5 + 893, tj. na 88 m od pristupnog kosog rova »Drenovac«, paralelno sa tunelom na rastojanju od 30 m (sl. 2). Prilaz od dovodnog tunela do probne komore ostvaren je jednim pristupnim potkopom dimenzija 2 × 2 m. Od ovog pristupnog potkopa izvršen je, u pravcu stacionaže, potkop za probnu komoru ukupne dužine 44,5 m. Prvih 18,5 m ovog potkopa namenjeno je pumpnom uređaju za izazivanje pritiska, a ostali deo samoj probnoj komori.

Probna komora dužine 21,5 m ima kružni poprečni presek sa prosečnim prečnikom D = 280 cm. Čeoni zid probne komore izveden je od nearmiranog betona debljine 2 m. Sa obe strane čeonog zida izvedena je prstenasta obloga dužine po 2 m, debljine 20 cm, koja je imala zadatak da produži putanju vode koja pod pritiskom teži da se iz komore probije oko čeonog zida. Na unutarnjoj strani čeonog zida i betonske prstenaste obloge izvedena je izolacija od dva sloja torkreta sa dva bitumenska premaza. Ceo čeoni zid i prstenasta obloga sa spoljnje strane obloženi su slojem torkreta. U cilju sprečavanja prodiranja vode kroz stenu, oko čeonog zida, izvršeno je injektiranje stene oko čeonog zida cementnim injekcijama posretstvom radijalno raspoređenih bušotina dubine 1,5—2 m.

Ispred čeonog zida postavljena je jedna pregrada za skupljanje vode koja u toku ispitivanja ipak prodre kroz čeoni zid. U pregradi je postavljen jedan Thompsonov preliv za merenje ove vode.

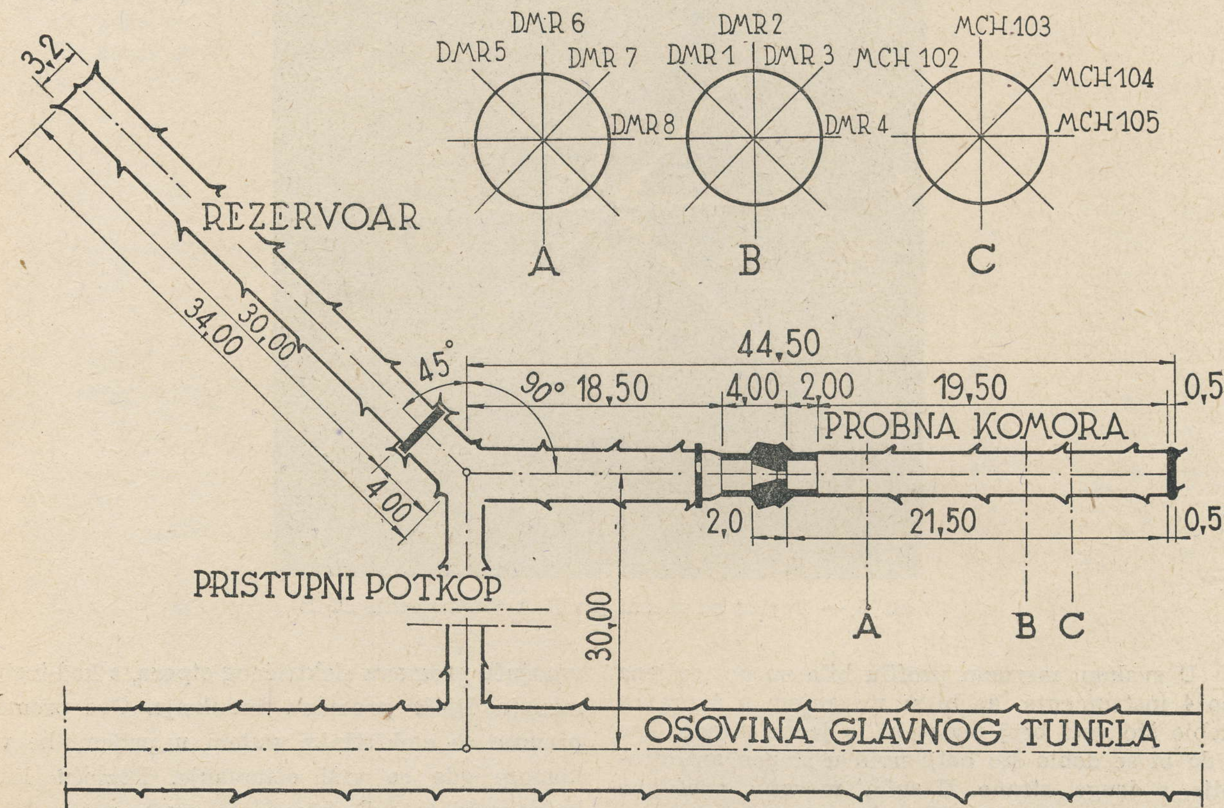
Da bi se za vreme ispitivanja izbegao uticaj promene temperature na naponsko stanje u steni, kao i njen uticaj na instrumente, izrađen je rezervoar u kome se voda, potrebna za ubacivanje u probnu komoru u toku ispitivanja, dovodila na temperaturu stene. Položaj i dimenzije rezervoara vide se na slici 2. Zbog osetne ispucalosti stene, u cilju sprečavanja gubljenja vode iz rezervoara,

stena u rezervoaru je obložena jednim slojem torkreta debljine oko 2 cm.

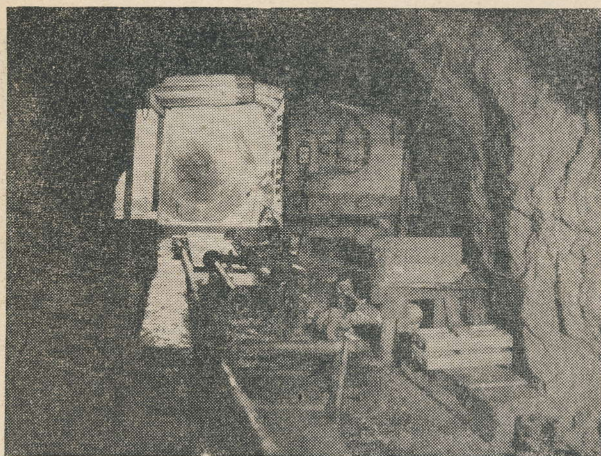
Između probne komore i rezervoara ostavljen je prostor dužine 18,5 m u kome je montiran uređaj za punjenje, pražnjenje i stvaranje pritiska u probnoj komori. Pored toga u ovom prostoru je bio smešten i merni sto sa instrumentima — prijemnicima pomoću kojih je vršeno registrovanje deformacija u probnoj komori (sl. 3).

Uređaj za izazivanje pritiska konstruisan je tako da omogućuje punjenje probne komore vodom iz rezervoara i vodom direktno iz gradilišnog vodovoda kao i pražnjenje vode iz komore u rezervoar posle pojedinih ciklusa ispitivanja u cilju čuvanja vode koja je već dovedena na temperaturu stene.

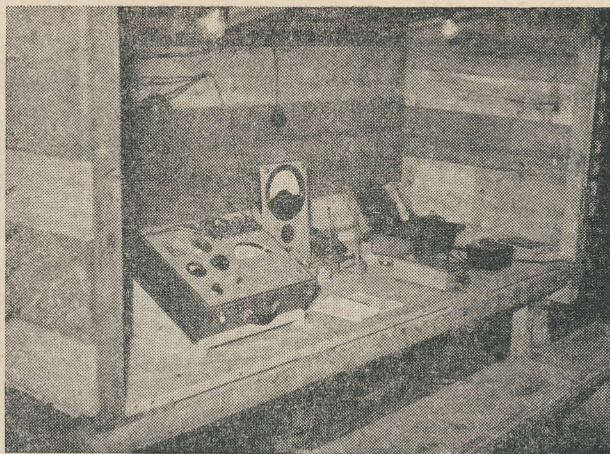
Punjenje probne komore i izazivanje pritiska vršeno je pomoću jedne centrifugalne pumpe Q = 200 lit/min i p_{max} = 11,5 atm. Na glavnoj dovodnoj cevi za punjenje probne komore bio je postavljen jedan vodomer pomoću koga je registrovana ukupna količina vode koja je u toku ispitivanja ubacivana u probnu komoru. Zajedno sa Thompsonovim prelivom na pregradi ispred komore ovaj vodomer je omogućio dobijanje stvarnih gubitaka vode u komori.



Sl. 2 — Situacija probne komore



Sl. 3 — Pogled na uređaj za izazivanje pritiska, merni sto i čeoni zid probne komore



Sl. 4 — Pogled na merni sto sa instrumentima-prijemnicima

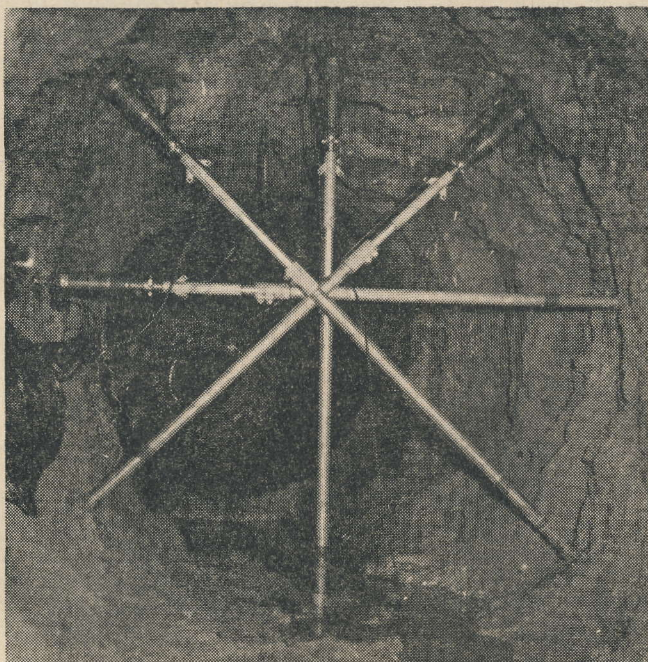
Merenje deformacija stene izvršeno je, u stvari, merenjem promena dužine prečnika probne komore u tri poprečna profila A, B i C (slika 2) specijalnim električnim instrumentima pomoću kojih može da se vrši registrovanje na otstojanju. Ukupno je upotrebljeno 12 instrumenata i to:

1) instrumenti sistema ANDRÉE (DMR) domaće konstrukcije — 8 komada. [2],

2) švajcarski instrumenti Motor Columbus — Huggenberger — 4 komada.

Svi upotrebljeni instrumenti sastoje se iz instrumenata — davača, postavljenih na specijalne nosače u pravcima mernih prečnika u probnoj komori, i instrumenata — prijemnika postavljenih na merni sto ispred probne komore, gde su vršena čitanja deformacija (sl. 4).

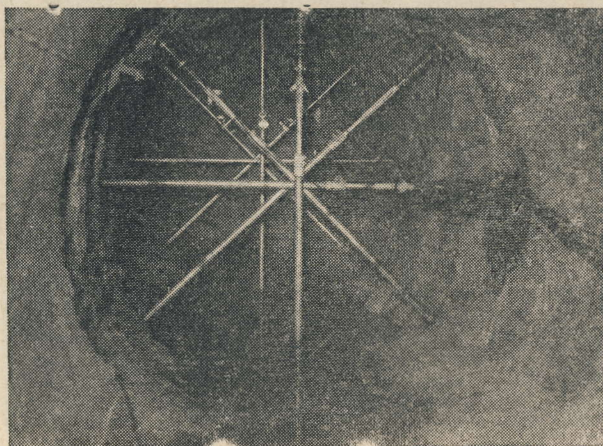
Nosači instrumenata u pravcima mernih prečnika konstruisani su iz po dva elementa međusobno spojena na principu teleskopske cevi. Kretanje tastera instrumenata MCH izaziva odgo-



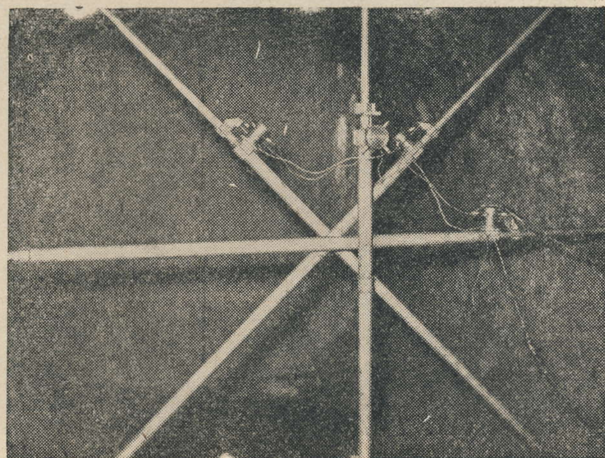
Sl. 5 — Pogled na merni profil A (instrumenti DMR)

varajuću promenu električnog otpora, a kod instrumenata DMR promenu indukcije. Ove promene prenose se električnim putem u prijemnike van komore gde se vrši očitavanje. Pomoću linija baždarenja iz ovih čitanja se sračunavaju deformacije.

U svakom mernom profilu bila su postavljena po 4 instrumenta, da bi se merenjem u 4 pravca dobio što veći broj podataka, s jedne strane, kao i da bi se dobio što bolji uvid u stepen anizotropije, s druge strane. U svim mernim profilima instrumenti su postavljeni u vertikalnom i horizontalnom pravcu i koso, levo i desno, pod uglom od 45^0 (slike 5, 6 i 7).



Sl. 6 — Pogled na merne profile B i C



Sl. 7 — Pogled na merni profil C (instrumenti MCH)

Geološki opis ispitivane deonice

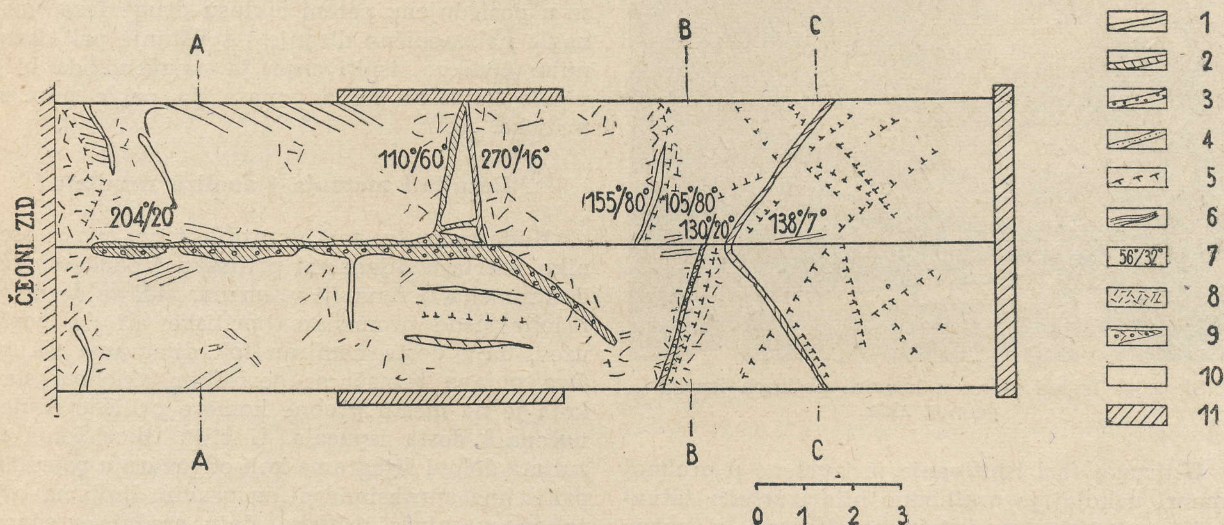
Površinu terena iznad probne komore sačinjavaju svetli krečnjaci kredne starosti. Ovi krečnjaci nepravilno naležu na tamne jurske krečnjake u kojima je izvršen iskop probne komore. Oštre morfološke crte površinskog dela terena, nepravilno naleganje krednih krečnjaka na jurske, postojanje karstnih elemenata na površini terena i u brdskoj masi, već ukazuje na to da se u dubini moglo računati sa nehomogenošću brdskog masiva.

Glavni deo probne komore probijen je u krečnjacima sa slabo izraženom slojevitošću, a manji deo u slojevitim krečnjacima različite moćnosti. Cela krečnjačka masa ispresecana je različito orijentisanim prslinskim i pukotinskim sistemima. Dimenzije i elementi pada prslina i pukotina jako tina. Mestimično se javljaju i pukotine u pravcu pada slojeva.

Međuslojne pukotine u slojevitom krečnjaku imaju padni ugao koji se menja od 7⁰—20⁰. Azimut padnog ugla kreće se u granicama 140⁰—210⁰. Pružanje pukotina ima azimut 50⁰—120⁰.

Dijagonalno na pad slojeva nalaze se dva skoro međusobno upravna sistema pukotina. Ove pukotine su brojno manje zastupljene od napred pomenutih, strme su i otvorene i nalaze se na međusobnom rastojanju od 1—1,2 m.

Ostale pukotine, kojih ima najviše, nalaze se duž sredine krovine i duž bokova probne komore. Ovo je, u stvari, deo zone tektonskog dejstva. Duž pukotina zapažaju se tragovi kretanja i pojave sekundarnog izlučenog kalcita. Sudeći po orijentaciji pukotina i tragova u njima, radi se o lokal-



Sl. 8 — Detaljni geološki snimak probne komore

Legenda:
1. Otvorene pukotine
2. Pukotine ispunjene crvenicom
3. Pukotine ispunjene nevezanim materijalom
4. Pukotine ispunjene kalcitom
5. Prsline
6. Slojevi krečnjaka
7. Elementi zaleganja
8. Tektonski oštećeni krečnjaci, razlomljene zone
9. Jako izražena pukotinska zona
10. Jurski krečnjak
11. Izbetonirani sektori

su promenljivi. Osim otvorenih pukotina ima i pukotina koje su zapunjene odlomcima krečnjaka, crvenicom i kalcitom. Za otvorene pukotine vezana je pojava vode, koja se za vreme kišnih dana pojačava.

Padni ugao slojevitih krečnjaka varira od 7⁰—20⁰, a azimut padnog ugla od 140⁰—210⁰. Međuslojne ravni u slojevitim krečnjacima jasno su formulisane. U probnoj komori je sistematskim snimanjem registrovano preko 200 pukotina. Najveći broj dobro izraženih prslina i pukotina pruža se duž probne komore u njenoj krovini. To su vrlo strme, međusobno paralelne pukotine, mestimično ispunjene kalcitom. Međuslojne pukotine su dobro izražene. Pored ovih postoje i dva sistema dijagonalnih, međusobno upravnih, pukotina. nom rasedu. Pružanje pukotinske zone poklapa se sa pružanjem probne komore ($\gamma = 40^0$).

U krečnjacima sa slabo izraženom slojevitošću veliki broj strmih pukotina grupisan je u dva pravca čiji se azimuti padnih uglova razlikuju za 180⁰ i može da se kaže da imaju isti pravac pružanja u pravcu osovine probne komore.

Pojavu pukotina i oštećenih krečnjaka treba pripisati postojanju tektonske linije u Drenovačkom domenu. Pojava kamina se pripisuje cirkulaciji podzemne vode duž pukotina i njenom mehaničkom i rastvaračkom dejstvu. U pristupnom delu probne komore zapažena su četiri kamina. Na sl. 8 prikazan je detaljni geološki snimak probne komore. Ovaj snimak je dobijen projektovanjem leve, odnosno desne polovine potkopa na vertikalnu ravan položenu kroz osovinu potkopa.

Opis ispitivanja

Ceo proces ispitivanja izvršen je u dve faze.

U prvoj fazi ispitivanje je izvršeno sa golom stenom u probnoj komori, u cilju pokušaja utvrđivanja stepena propustljivosti za vodu potpuno gole, neobložene stene u prirodnom stanju. Pri punom kapacitetu rada pumpe koja je ubacivala vodu u probnu komoru, pritisak je uspeo da se digne samo do 1 atm. Za svaki slučaj u probnoj komori su bili namešteni i instrumenti za merenje deformacija. Međutim, s obzirom na vrlo mali postignuti pritisak, registrovane deformacije bile su tako malog reda veličine da se nisu mogle iskoristiti.



Sl. 9 — Izgled stene u krovini potkopa ispred čeonog zida

U drugoj fazi ispitivanje je izvršeno u probnoj komori u kojoj je prethodno bilo izvršeno zatvaranje pukotina cementnim malterom, a zatim torkretiranje cele unutarnje površine komore. Osnovni zadatak ispitivanja u ovoj fazi sastojao se u merenju deformacija stene pod određenim pritiscima. Maksimalni pogonski pritisak u tunelu iznosi 3,6 atm, a sa povećanjem usled dinamičkog dejstva za 10% oko 4 atm. Međutim, zbog velikih gubitaka vode, odnosno velike propustljivosti za vodu koja se pokazala i pored preduzetih mera, pritisak u toku ispitivanja uspeo je da se digne samo do 3,86 atm.

Ispitivanje u prvoj fazi izvršeno je u dva, a u drugoj fazi u pet ciklusa. Tok dizanja i spuštanja pritiska kao i trajanje pojedinih ciklusa u prvoj i drugoj fazi prikazan je u tablici 1.

U procesu dizanja odnosno spuštanja pritiska na vrednosti navedene u koloni »tok dizanja i spuštanja pritiska«, pritisci su održavani sve dotle dok se deformacije nisu konsolidovale, odnosno približno konsolidovale. U toku celog ispitivanja, na svim navedenim vrednostima pritisaka, vršeno je sistematsko čitanje deformacija za sve merne profile i sve merne prečnike.

Iz tablice 1 se vidi da se u svim ciklusima vršilo postepeno dizanje i spuštanje pritiska dok se u poslednjem, petom ciklusu druge faze, vršilo naglo naizmenično dizanje i spuštanje pritiska na nulu. Ovakvo ispitivanje je izvršeno, da bi se videlo kako se stena ponaša na nagle promene pritiska.

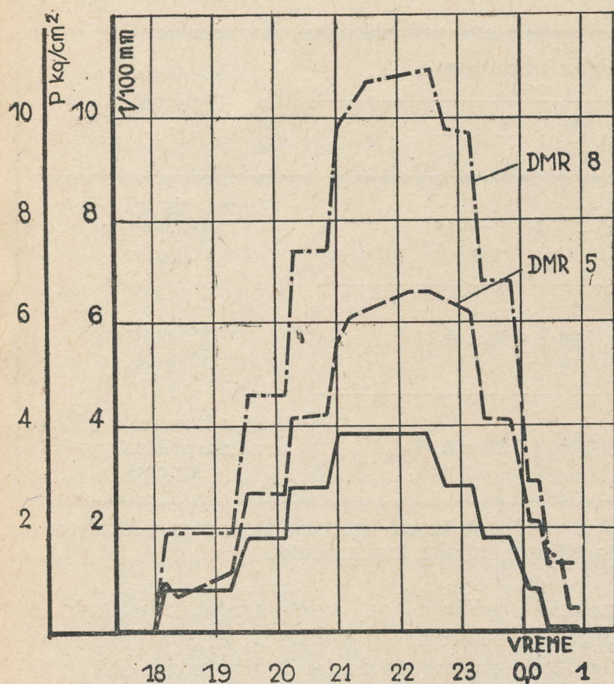
Rezultati merenja i analiza rezultata

Kada se za sve merne profile i sve merne prečnike nacrtaju dijagrami pritisaka i odgovarajućih deformacija u funkciji vremena, vidi se da deformacije slede promenama pritiska ali da, uopšte uzev, daju dosta nemiran tok dijagrama (sl. 10). Ova pojava tumači se geološkim sklopom stene koja je na mestu probne komore prilično neujednačena i dosta ispucala. U cilju iskorišćenja rezultata delovi dijagrama koji odgovaraju pojedinim pritiscima aproksimirani su pravim linijama koje, za odgovarajuće pritiske, daju srednje vrednosti deformacija.

Isto tako su za sve merne prečnike i sve merne profile nacrtani dijagrami deformacija u funkciji pritiska. Ovi dijagrami dobijeni su nanošenjem deformacija za sve cikluse iz koordinatnog početka.

Tablica 1

Faza ispitivanja	Ciklus	Početni pritisak	Tok dizanja i spuštanja pritiska (kg/cm²)										Maks. pritisak kg/cm²	Trajanje ciklusa (čas.)	Primedbe
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
I	1	0	0,2	0,8	0,96	0,2							0,96	7	I faza, 1955 god. Ispitivanje sa neobloženom stenom
	2	0,2	0,2	0,6	0,8	0,88							0,88	4	
II	1	0	0,8	1,8	2,8	3,6	2,8	1,8	0,8	0			3,6	17	II faza, 1956 god. Ispitivanje sa torkretiranom stenom
	2	0	0,8	1,8	2,8	3,86	2,8	1,8	0,8	0			3,86	8	
	3	0	3,8	0,2	0								3,8	4	
	4	0	0,8	1,8	0,8	1,8	0						1,8	2,5	
	5	0	1,8	0	2,8	0	3,3	0	3,3	0	3,1	0	3,3	7	



Sl. 10 — Dijagram deformacija u funkciji pritiska i vremena za drugi ciklus, druge faze ispitivanja

Na slici 11 prikazan je, primera radi, dijagram deformacija u funkciji pritiska za merne prečnike DMR-1 i DMR-4 u profilu B i to za sve cikluse opterećenja.

Kada se posmatraju svi dijagrami deformacija u funkciji pritiska, u celini, može se uočiti da se stena ponaša relativno elastično i da se iz tih dijagrama, pogodnim aproksimacijama, može dobiti linearna veza između pritisaka i deformacija za odgovarajući domen ispitivanja.

Ako se deformacije izmerene u pravcima pojedinih mernih prečnika nanesu u polarnom koordinatnom sistemu u odgovarajućim pravcima, dobijaju se dijagrami radijalnih deformacija prikazani na sl. 12 i 13. Ti dijagrami prikazani su za pritiske od 0,80 kg/cm², 1,78 kg/cm², 2,80 kg/cm² i 3,86 kg/cm². Za merni profil A nije dat odgovarajući dijagram zbog toga što se jedan instrumenat u toku ispitivanja zakočio kao i stoga što je deformacija dobijena u vertikalnom pravcu suviše velika, što se pripisuje lokalnom uticaju stene na mestu ankera vertikalnog nosača instrumenta kao što je to posle pražnjenja probne komore utvrđeno na osnovu pojava pukotina u torkretu oko ankera.

Kao što se vidi iz sl. 12 i 13, dijagrami radijalnih deformacija imaju karakterističan lemniskatni oblik [3] [4] [5] sa infleksionim tačkama u svim kvadrantima. Takav oblik dijagrama radijalnih deformacija dobijen je na nekoliko mesta (Mavrovo, Jablanica, Piave) i više, kao pojava, ne pretstavlja iznenađenje. Deformacije u vertikalnom pravcu, tj. u pravcu približno upravnom na slojeve, veće su od deformacija u horizontalnom pravcu, tj. u pravcu slojeva. Na prvi pogled moglo bi se očekivati da će deformacije u pravcima oba merna prečnika pod 45⁰ biti takve, da se u radijalnom pravcu uklope u dijagram, tako da daju jednu kontinualnu krivu sličnu elipsi. Međutim, izvršeno merenje je pokazalo da to nije slučaj i da dijagram radijalnih deformacija ima karakterističan oblik koji pokazuje izrazitu anizotropiju.

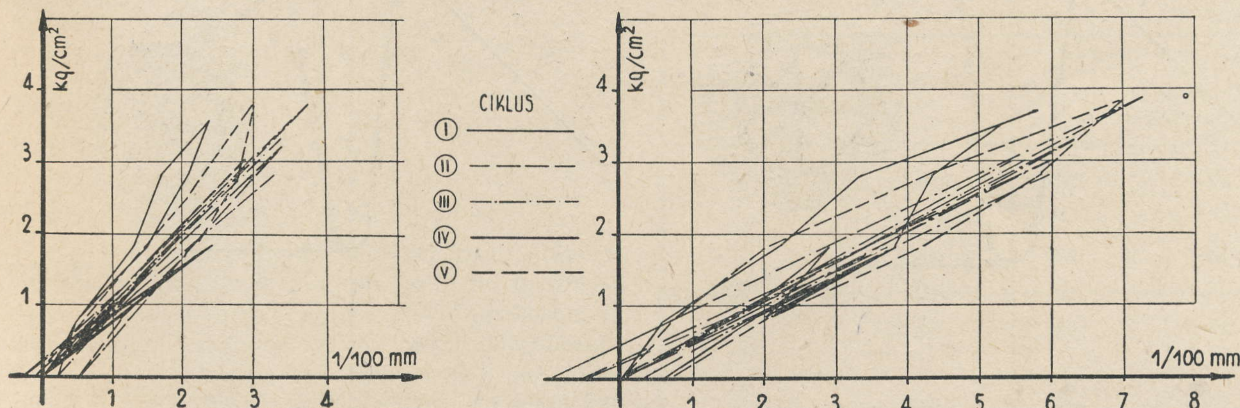
Stepen anizotropije

Da bi se anizotropija utvrđena merenjem mogla i kvantitativno da izrazi, usvojen je sledeći izraz [3] koji definiše stepen anizotropije:

$$1 : \frac{u_2}{u_1} : \frac{u_3}{u_1} : \frac{u_4}{u_1},$$

gde su sa u_1, u_2, u_3 i u_4 obeležene deformacije izmerene u pravcima pojedinih mernih prečnika.

U tablici 2 date su srednje vrednosti deformacija u pravcima pojedinih mernih prečnika i odgovarajući stepeni anizotropije za sve merne profile. Srednje deformacije su dobijene iz dijagrama deformacija u funkciji pritiska aproksimacijom uzlaznih i silaznih grana dijagrama pravim linijama. Sve srednje deformacije uzete su za jedan zajednički pritisak od 4 kg/cm², koji je nešto veći od stvarno postignutog, što je dopušteno s obzirom na linearnost veze između pritisaka i deformacija u ispitivanom domenu.



Sl. 11 — Dijagram deformacija u funkciji pritiska za merne prečnike DMR-1 i DMR-4

Tablica 2

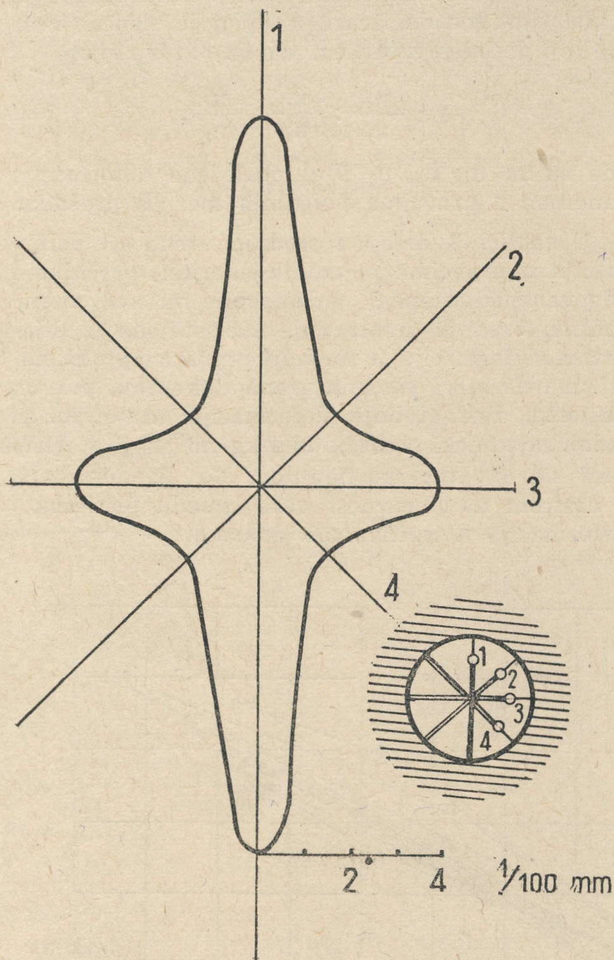
Merni profil	Deformacije $\left(\frac{1}{100}\text{ mm}\right)$				Stepen anizotropije	Primedbe
	u_1	u_2	u_3	u_4	$1 : \frac{u_2}{u_1} : \frac{u_3}{u_1} : \frac{u_4}{u_1}$	
A	55,0	—	13,1	6,5	1 : — : 0,24 : 0,12	Shema obeležavanja deformacija
B	16,0	4,4	8,0	4,0	1 : 0,28 : 0,50 : 0,25	
C	15,0	3,0	4,5	4,0	1 : 0,20 : 0,30 : 0,27	Sve deformacije odnose se na pritisak p=4,0 kg/cm²

Napomena: Deformaciju u_1 za profil A, koja ima vrlo visoku vrednost, treba uzeti sa rezervom s obzirom na mogućnost čisto lokalnog uticaja stene oko ankera nosača instrumenta.

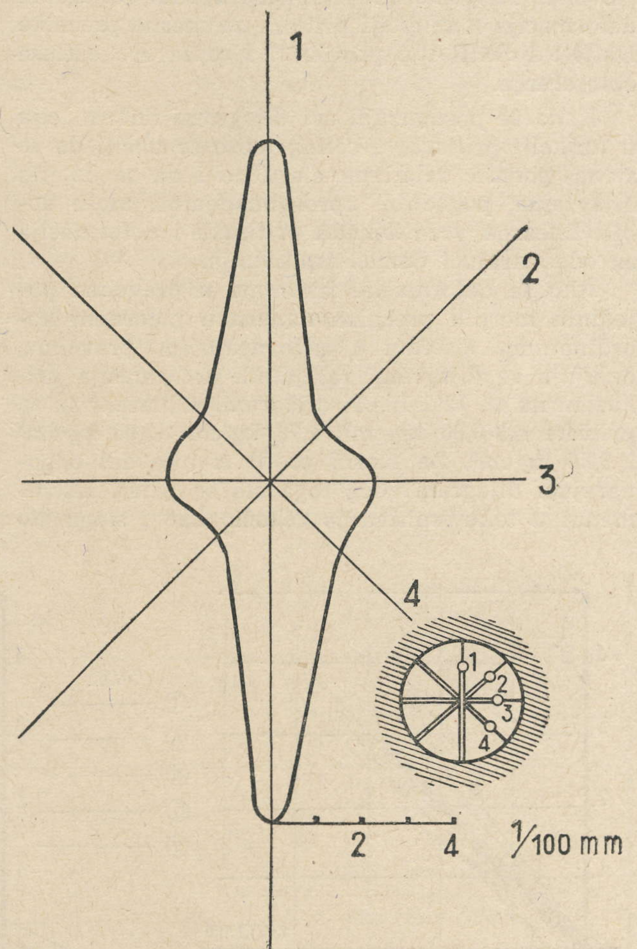
Modul elastičnosti

Za proračun modula elastičnosti korišćene su vrednosti deformacija iz tablice 2 kao srednje vrednosti dobijene iz dijagrama deformacija u funkciji pritiska za odgovarajući pritisak od 4,0 kg/cm². Moduli su sračunati za sve merne profile i sve merne prečnike i pregledno dati u tablici 3.

Za proračun modula elastičnosti korišćena je formula dobijena po teoriji debele cevi, iako se



Sl. 12 — Dijagram radijalnih deformacija za merni profil B



Sl. 13 — Dijagram radijalnih deformacija za merni profil C

Tablica 3

Merni profil	Deformacije za p = 4,0 kg/cm²				Modul elastičnosti kg/cm²					Primedbe
	u_1	u_2	u_3	u_4	E_1	E_2	E_3	E_4	E_{sr}	
A	0,0550	—	0,0131	0,0065	24 000	—	100 000	205 000	150 000	u_1, u_2, u_3, u_4
B	0,0160	0,0044	0,0080	0,0040	83 000	300 000	165 000	330 000	220 000	
C	0,0150	0,0030	0,0045	0,0040	88 000	440 000	295 000	330 000	288 000	
				E_{sr} =	85 000	385 000	187 000	288 000	230 000	$E = \frac{1325}{u}$

u ovom slučaju radi o izrazito anizotropnoj steni. Ovo stoga što zasada još ne postoji teorija koja bi omogućavala sračunavanje modula elastičnosti za slučaj anizotropne sredine. Ipak, moduli elastičnosti dobijeni na ovaj način pružaju mogućnost kvantitativne ocene reda veličine i promenljivosti modula, što je za konstruktera obloge od osnovnog značaja.

Modul elastičnosti dobija se po obrascu:

$$E = \frac{p \cdot D}{u} \frac{m+1}{m} \ (kg/cm^2),$$

gde je:

p = pritisak na stenu u kg/cm²,
D = prečnik kružnog potkopa u cm,
u = deformacija, tj. promena prečnika D, pod dejstvom opterećenja p, u cm,
m = Poisson-ov broj $\approx$ 6.

Gornji obrazac možemo napisati u obliku:

$$E = (p \cdot D \cdot \frac{m+1}{m}) \cdot \frac{1}{u}$$

odnosno

$$E = \frac{k}{u}.$$

U našem određenom slučaju k je konstanta i iznosi:

$$k = p \cdot D \frac{m+1}{m} = 4 \cdot 284 \cdot \frac{7}{6} = 1325 \cdot$$

Prema tome

$$E = \frac{1325}{u}.$$

Proračun modula dat je u tablici 3

Kao što se iz tablice vidi vrednosti modula elastičnosti osetno se menjaju kako po profilima tako i po pojedinačnim pravcima u profilima. Iz navedenih podataka se vidi da se pri određivanju srednje vrednosti modula elastičnosti ne može računati na neku precizno određenu vrednost već da se, u stvari, radi o određivanju reda veličine.

Pri određivanju srednje vrednosti modula elastičnosti stene za celu probnu komoru odbačena je vrednost E_1 dobijena u profilu A zbog očigledno suviše visoke vrednosti deformacija u tom pravcu. Tako niska vrednost modula elastičnosti, odnosno vrlo visoka vrednost izmerene deformacije tumači se lokalnim osobinama materijala na mestu ankerovanja nosača instrumenata. Ovo je konstatovano i posle pražnjenja probne komore oštećenjima nastalim u torkretu na tom mestu.

Propustljivost za vodu

Propustljivost stene za vodu određena je na taj način što je pomoću vodomera merena ukupna količina vode (q_v) koja je ubacivana u probnu komoru, a na Thompsonovom prelivu, ispred čeonog zida komore, hvatana je i merena voda koja se u toku merenja probijala kroz i oko čeonog zida (q_t). Razlika ovih dveju merenih količina (q_v—q_t) daje onu količinu vode koja se iz probne komore gubila u steni.

Merenje propustljivosti za vodu vršeno je u obe faze ispitivanja. Rezultati merenja prikazani su u tablici 4 gde su prikazani gubici vode u probnoj komori (q_v—q_t) kao ukupni gubici u lit/min i kao gubici redukovani na 1 m² površine probne komore za odgovarajuće pritiske.

Tablica 4

Faza	Ciklus	Pritisak atm	Gubici vode	
			ukupni (lit/min)	redukovani (lit/min/m²)
I	1	0,96	210	1,20
	2	0,88	250	1,43
II	1	3,6	265	1,52
	2	3,86	290	1,65

Gubici redukovani na 1 m^2 površine probne komore sračunati su po obrascu

$$q = \frac{q_v - q_t}{P},$$

gdje je P površina probne komore kroz koju se voda gubi.

$$P = D \cdot \pi \cdot L = 2{,}84 \times 3{,}14 \times 19{,}5 = 175 \text{ m}^2.$$

Kao što se vidi iz prednje tablice gubici vode su u fazi II ispitivanja osetno manji s obzirom na povećani pritisak. Ovo je savršeno logično kada se ima u vidu da je stena za ovu fazu bila prethodno obložena slojem torkreta. Međutim, i ovi gubici su još uvek isuviše veliki. Visoke vrednosti gubitaka u fazi I ispitivanja, za relativno vrlo niske pritiske, ukazuju da je stena u visokom stepenu propustljiva za vodu.

Zaključci

1. Vrednosti modula elastičnosti jurskih krečnjaka dobijene merenjem u probnoj komori »Drenovac« dovodnog tunela HE-Gojak dati su pregledno u tablici 3. Kao što se vidi iz tablice vrednost modula elastičnosti promenljiva je kako po mestu tako i po pravcu merenja. Njegova srednja vrednost, za probnu komoru u celini iznosi E = 230 000 kg/cm².

2. Izvršena merenja su pokazala da je stena, na mestu probne komore, izrazito anizotropna. Vrednosti izmerenih deformacija kao i stepena anizotropije date u tablici 2 ukazuju na to da će se u oblozi tunela javiti naponi na zatezanje izazvani momentima usled karakterističnog lemniskatnog oblika linije radijalnih deformacija.

3. Gubici vode konstatovani u toku ispitivanja i pregledno složeni u tablici 4 pokazuju da je stena u visokom stepenu propustljiva za vodu, što ukazuje na potrebu posebnog vođenja računa o propustljivosti obloge tunela za vodu.

Literatura

[1] B. Kujundžić: Prilog eksperimentalnom određivanju modula elastičnosti stene »in situ«. »Naše Građevinarstvo«, 1954, br. 8.

[2] L. Andrée: Daljinsko mjerilo produljenja »DMR«, »Elektrotehnički Vesnik«, 1952, br. 9—10.

[3] Đ. Lazarević, B. Kujundžić: Mechanical Characteristics of Mountain Masses, Proceedings of the Yugoslav Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Ljubljana, 1954.

[4] B. Kujundžić: Ispitivanje elastičnih osobina i vodopropustljivosti stene u dovodnom tunedu II hidroelektrane Jablanica. Saopštenja Hidrotehničkog instituta »Ing. Jaroslav Černi«, 1956, br. 3.

[5] Đ. Lazarević: Segmentni kvadrati. Obloge hidrotehničkih tunela pod pritiskom u anizotropnim brdskim masivima. Izdanje Hidrotehničkog instituta »Ing. Jaroslav Černi«, Beograd, 1955.

Ing. B. Kujundžić, Hidrotehnički institut »Ing. Jaroslav Černi«, Beograd

Essais pour la determination des characteristiques méchaniques des roches dans la galerie d' amenée de la centrale hydroelectric de Gojak

Des essais de roches ont été effectués dans la chambre d'essai »Drenovac« de la galerie en charge de la centrale hydroélectrique de Gojak, dans le but de déterminer de façon expérimentale le module d'élasticité, le dégré d'anisotropie et de la perméabilité de la roche. La chambre d'essai, de 280 cm de diamètre et d'une longueur de 21,5 m, a été creusée dans les calcaires jurassiques foncés, comme une galerie particulière, parallèle à l' axe de la galerie d' amenée principale. La chambre d' essai a été remplie d' eau et mise sous une pression de 3,86 atm. Les déformations de la roche ainsi que les modifications du diamètre de la chambre d' éssai ont été mesurées sur trois profils transversaux par des instruments éléctriques speciaux avec enregistrement à distance. Les valeurs des déformations enregistrées et des dégrés correspondants d' anisotropie sont données sur le tableau 2, les valeurs du module d' élasticité sur le tableau 3 (valeur moyenne E = 230 000 kg/cm²) et celles de la perméabilité sur le tableau 4. Il a été démontré par les essais que la roche est d' une anisotropie prononcée avec un diagramme caractéristique des déformations radiales (fig. 11 et 12). L' anisotropie ainsi que la forte perméabilité de la roche indiquent la nécessité de tenir compte spécialement de l' imperméabilité du revêtement de la galerie.

Branislav Kujundžić, C. E., Hidrotehnički institut »Ing. Jaroslav Černi«, Beograd

Investigation of mechanical properties of the rock in the intake tunnel of the hydroelectric plant Gojak

Investigation have been carried out in the tunnel Drenovac of the hidroelectric plat Gojak, to determine the modulus of elasticity, degree of anisotropy and permeability of the rock. The 21.5 m long trial chamber with a diameter of 280 cm was digged in dark jurassic limestones as a separate gallery, parallel to the axis of the main tunnel. The chamber was filled with water and put under pressure of 3.86 atm. The rock deformations i. e. the changes of the chamber diameter were measured on three cross sections with special electric instruments with remote control. The values of the recorded deformations and the corresponding degree of anisotropy are given in table 2., the values of the modulus of elasticity in table 3. (average value E = 230,000 kg/cm²) and the permeability values in table 4. The measurements have shown that the rock is markedly anisotropic with a characteristic diagram of radial deformations. (fig. 11. and 12) Anisotropy and high permeability of the rock indicate the neccessity of an impermeable tunnel lining.

PRILOG POZNAVANJU VELIKIH I MALIH VODA SLIVNOG PODRUČJA UNE

Ing. **Miodrag Pavlović**, Elektroprojekt, Sarajevo

1. Uvod

Slivno područje Une zahvata područja dosta interesantna u svim privrednim granama. Severni deo sliva ispresecan je važnim železničkim i drumskim vezama, dok uz sam tok Une prolazi važna železnička pruga Sunja—Knin. U samom slivnom području postoje već otvoreni rudnici ili ustanovljene rezerve kao i neke fabrike. Lokalna plovidba Unom i Sanom verovatno će dobiti svoje ekonomsko opravdanje. Plodne doline Sane i Une često su izložene periodičnim i katastrofalnim poplavama koje su u poslednje vreme bile česte. Tehnička ostvarenja u vezi s korišćenjem privrednog potencijala ovoga sliva, ili odbrana od elementarnih nepogoda, zahtevaju solidno proučene, iz što dužeg perioda, hidrološke podloge. Nije svejedno kolike su velike vode pri ekonomskom dimenzioniranju akumulacija i nasipa za odbranu od poplava ili za optimalno određivanje prelivnih organa kod energetskih postrojenja i dr. Zato je od važnosti, kakve su velike i male vode u slivnom području Une bile, kakve su danas i šta se može očekivati u budućnosti. Poznavajući i uvažavajući tendenciju velikih i malih voda mogu se izbeći neugodnosti i u znatnoj meri približiti se ekonomskom rešenju. Ovo je jedan od primera, ali ne usamljenih, koji pokazuju da dobro proučene hidrološke podloge mogu u velikoj meri pomoći i pri projektovanju i u pogonu.

2. Slivno područje i podloge

Slivno područje Une zahvata površinu od oko 10 000 km². Južni deo zahvata obronke Dinarida sa većim ili manjim osobinama karsta. Karstne karakteristike dopiru dolinom Une skoro do Bihaća, dok je dolina Sane, najveće pritoke Une, u znatno manjoj meri obeležena karstnim osobinama. Idući ka severu tih osobina nestaje. To se može odmah uočiti posmatranjem hidrografske razgranatosti sliva (sl. 1). Una od svoga izvorišta pa do Bihaća, bolje rečeno do Bosanske Krupe, nema površinskih pritoka. Vodu dobija iz povremenih i stalnih karstnih vrela (Una, Mala i Velika Neteka, Ostrovica, Klokot i Crno Jezero). Potez Bosanska Krupa pa dalje, do ulivanja u Savu, ima normalno razvijenu površinsku hidrografiju. Neposredan sliv Une do Bihaća je malen, u odnosu na oticaje, tako da se ne mogu očekivati katastrofalne vode na tom potezu. Vode koje dolaze sa slivnog područja preko karsnih vrela normalno dolaze sa izvesnim zadocnjenjem. Sana ima veći neposredni sliv, tako da se štetne posledice velikih voda osećaju već kod Ključa i Sanskog Mosta.



Sl. 1 — Slivno područje Une

Takva heterogenost slivnog područja zahteva pri analizi velikih i malih voda proučavanje više vodomernih stanica raspoređenih po celom slivu. Kako su za te stanice postojali podaci, bilo je moguće uzeti u razmatranje četiri vodomerne stanice: Bihać i Bosansku Dubicu na Uni, Ključ i Prijedor na Sani. Takav raspored je omogućio upoznavanje tendencija voda gornjeg toka Une (Bihać), celoga toka Sane (Ključ i Prijedor) i cele Une posle primanja svih pritoka (Bosanska Dubica), sl. 1. Na pojedinim stanicama raspolagalo se sa ovim periodima:

B i h a ć. Period od 53 godine (1888—1941, sa nedostatkom god. 1919) i posleratni period od 7 godina (1949—1955). U vremenu između 1941 i 1949 godine postoje delimična ili ne postoje osmatranja.

B o s a n s k a D u b i c a. Period od 64 godine (1892—1955). Postoji i linija proticaja nacrtana na osnovu merenja izvršenih u periodu 1904—1955 god.

K l j u č. Period od 44 godine (1897—1940) i posleratni period od 10 godina (1946—1955).

P r i j e d o r. Period od 47 godina (1892—1940) sa nedostatkom 1916 i 1918 godine kao i posleratni period od 10 godina (1946—1955).

Samo na vodomernoj stanici Bosanska Dubica postoji kontinualni niz godina. U Prijedoru i Bihaću nedostaju po dve odnosno jedna godina, ali to ne stvara prepreke da se dođe do realnih zaključaka. Godine koje nedostaju nisu reprezentativne ni kod malih ni kod velikih voda, tako da se i sa te strane ne mogu očekivati štetne posledice.

Proučavanje tendencije velikih i malih voda izvršeno je na osnovu ovih linija nacrtanih za proučavane vodomere:

— Linija maksimalnih i minimalnih godišnjih vodostaja.

— Mobilni prosek maksimalnih i minimalnih vodostaja. Ta se linija dobija na ovaj način: nađe se srednja vrednost za deset godina i nanese se u sredinu perioda; zatim se pomeri period za jednu godinu unapred i ponovo nađe srednja vrednost perioda i nanese u sredinu novoga perioda; proces se tako nastavlja dalje.

— Trend maksimalnih i minimalnih vodostaja. Za crtanje ove linije izabrana je metoda nalaženja prosečnih vrednosti za dva poluperioda i spajanjem tih tačaka dobijen je trend.

— Linija spajanja srednjih vrednosti kvartala. Dobijena je spajanjem tačaka srednjih vrednosti praktično poklapaju. Stabilnost je dobro ilustrovana srednjim vodostajima kvartala:

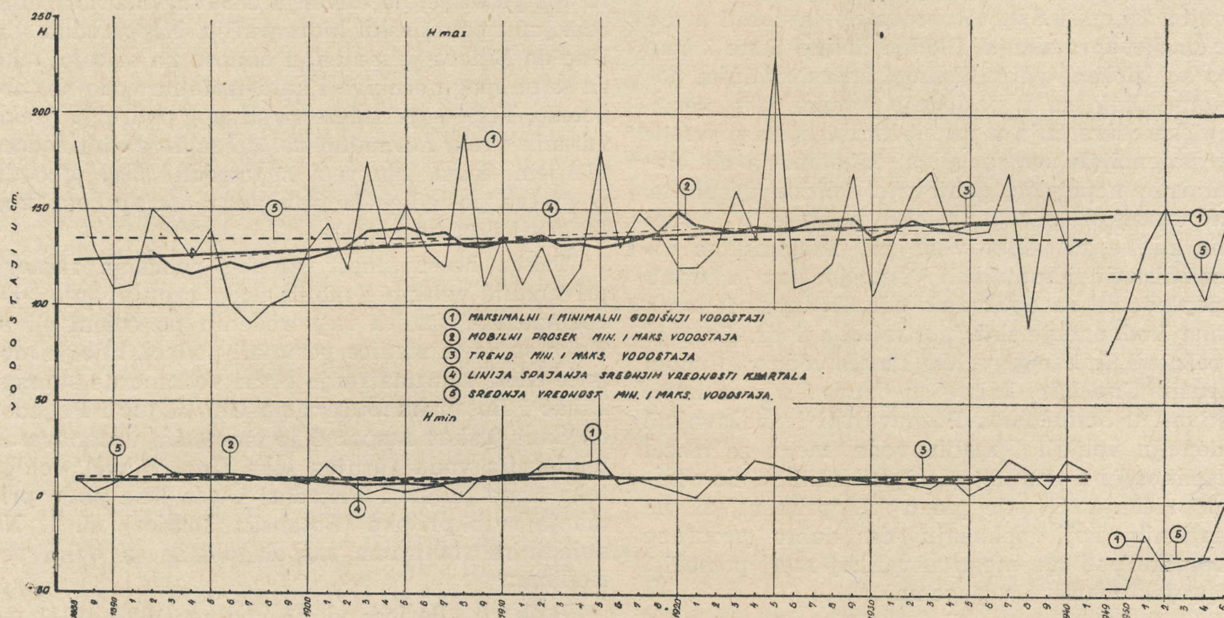
1888—1900: $H_{sr} = 10{,}1$,

1901—1913: $H_{sr} = 9{,}0$,

1914—1927: $H_{sr} = 11{,}5$,

1928—1941: $H_{sr} = 10{,}7$.

Tendencija porasta postoji, ali vrlo mala. Kad bi postojali podaci za dalji period sušnih godina, koji je nastupio posle 1941 godine, verovatno bi trend pokazivao znatno manje odstupanje k porastu.



Sl. 2 — Maksimalni i minimalni godišnji vodostaji v. s. Bihać

kvartala nanesenih u sredinu svakoga kvartala. Za pojedine stanice usvojeni su kvartali: Bihać 3 po 13 godina i jedan 14 godina, Bosanska Dubica 16 godina, Ključ 11 godina i Prijedor tri po 12 godina i jedan 11 godina.

— Linija srednjih vrednosti maksimalnih i minimalnih vodostaja.

3. Tendencija malih voda

Proučavanje tendencije malih voda na osnovu minimalnih godišnjih vodostaja ima svoga opravdanja pod pretpostavkom stabilnih korita. Ukoliko se tokom vremena vrši deformacija korita, izgledi za takvo proučavanje opadaju, ali treba registrovati takve pojave i uzeti ih u obzir. Vodomerna stanica Bihać može se držati pouzdanom što se tiče stabilnosti korita i bez rezerve rezonovati o tendencijama malih voda. Ukoliko i postoje deformacije korita, one su minimalne i bez uticaja na krajnji rezultat. Minimalni godišnji vodostaji pokazuju ujednačenost, tako da se prosečna linija minimalnih vodostaja, mobilni prosjek i trend

Tendencija porasta malih voda na vodomeru Bihać može se smatrati neznatnom i male vode u periodu od 53 godine praktično nepromenjenima (sl. 2).

Male vode vodomerne stanice Ključ u periodu od 1897 do 1915 godine pokazuju izvjesnu tendenciju porasta da bi potom stalno opadale (sl. 3). Mobilni prosjek i trend pokazuju tendenciju opadanja. Postavlja se pitanje, da li je to stvarno opadanje malih voda, ili ima svoga uticaja i deformacija korita? Pre 1933 godine nema sačuvanih podataka o merenju proticanja. Od 1933 do 1954 godine merenja malih voda pokazuju vrlo dobro slaganje (sl. 4). Malo je verovatno da su merenja vršena baš u vremenu istih tendencija deformacije korita, pošto je u celom tom periodu tendencija minimalnih voda u opadanju. Disperzija tačaka zapaža se za vodostaje veće od minimalnih, što bi moglo da ide u prilog pretpostavci stabilnosti korita za minimalne vode. Objašnjenje ovoga može se naći u intenzivnoj degradaciji šumskog pokrivača na slivnom području koji hrani vodom Sanu.

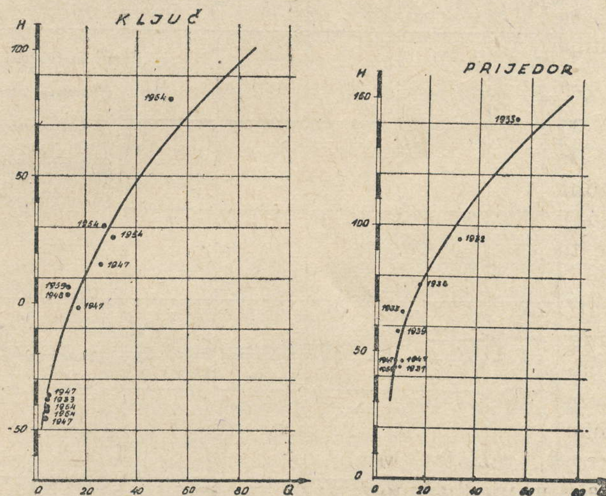
Sl. 3 — Maksimalni i minimalni godišnji vodostaji v. s. Ključ

Tendencija opadanja malih voda na vodomeru Ključ ne može se potpuno pripisati deformaciji korita i zato se može smatrati da u periodu od 44 godine male vode imaju tendenciju opadanja.

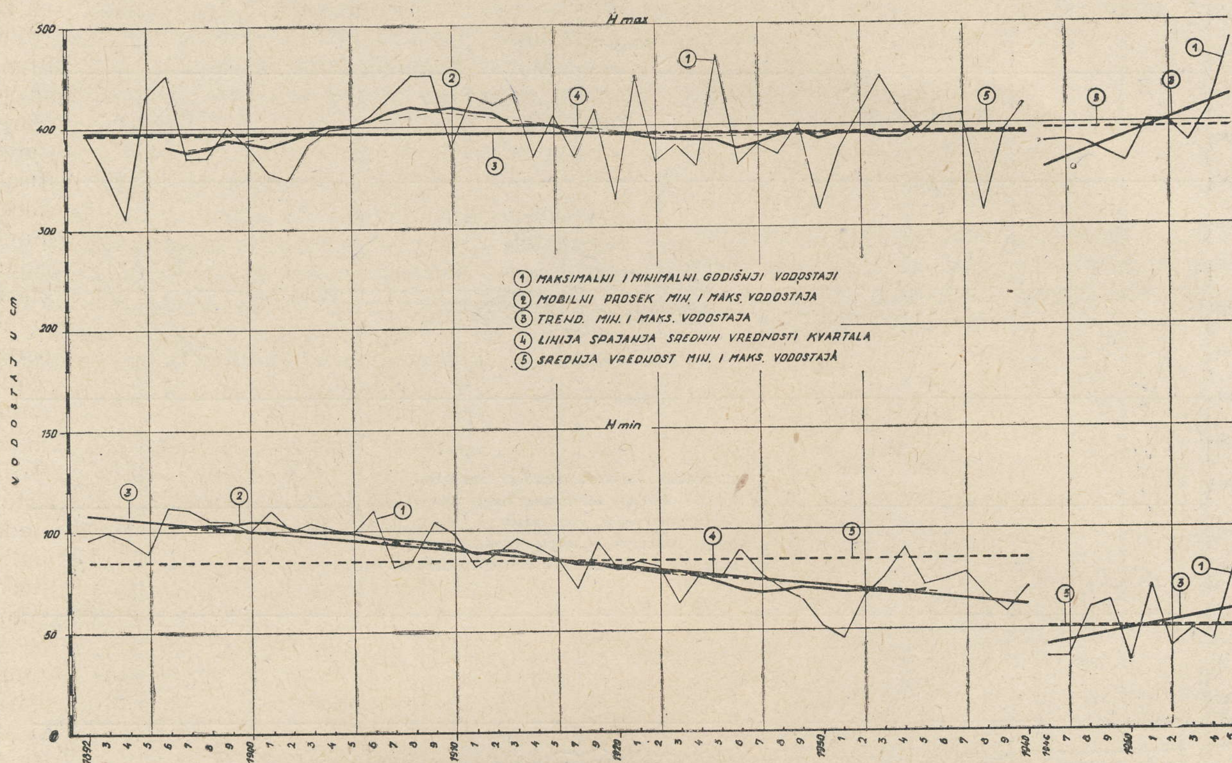
Na vodomernoj stanici Prijedor u celom posmatranom periodu tendencija malih voda je k opadanju. Teško je verovati da se vrši stalno dubljenje korita (sl. 5). Merenja koja su vršena u periodu od 25 godina (1931—1954) ne pokazuju nikakvu disperziju (sl. 4). Može se pretpostaviti da postoje neke deformacije korita, ali ne takve da bi dovele u sumnju drugo tvrđenje. Takođe je malo verovatno da je ovolikom opadanju malih voda uzrok kolizija opadanja vode i dubljenje korita, u kojoj bi drugi razlog imao preimućstvo. Najverovatnije je da je obrnuto. Prema tome može se smatrati da su u periodu od 47 godina male vode na vodomeru Prijedor bile u stalnom opadanju.

Bosanska Dubica je vodomerna stanica sa najdužim kontinualnim periodom osmatranja i pouzdanom linijom proticaja za minimalne vode, dokazane velikim brojem merenja u celom proučavanom periodu. Disperzija tačaka ne postoji, tako da se korito može smatrati stabilnim. Mobilni prosjek i trend pokazuju tendenciju opadanja. Ako se izuzmu izuzetno sušne godine, tj. period 1944—1955, dobija se ista tendencija mobilnog prosjeka i trenda, naravno sa nešto manjim nagibom k opadanju. Na osnovu toga može se tvrditi da su male vode na vodomernoj stanici Bosanska Dubica u periodu od 64 godine u stalnom opadanju (sl. 6).

Posmatrajući u celini sliv Une i imajući u vidu da Sana daje oko 45% oticaja Uni, a na osnovu podataka za Bosansku Dubicu, može se sa većom si-



Sl. 4 — Linija proticaja na r. Sani

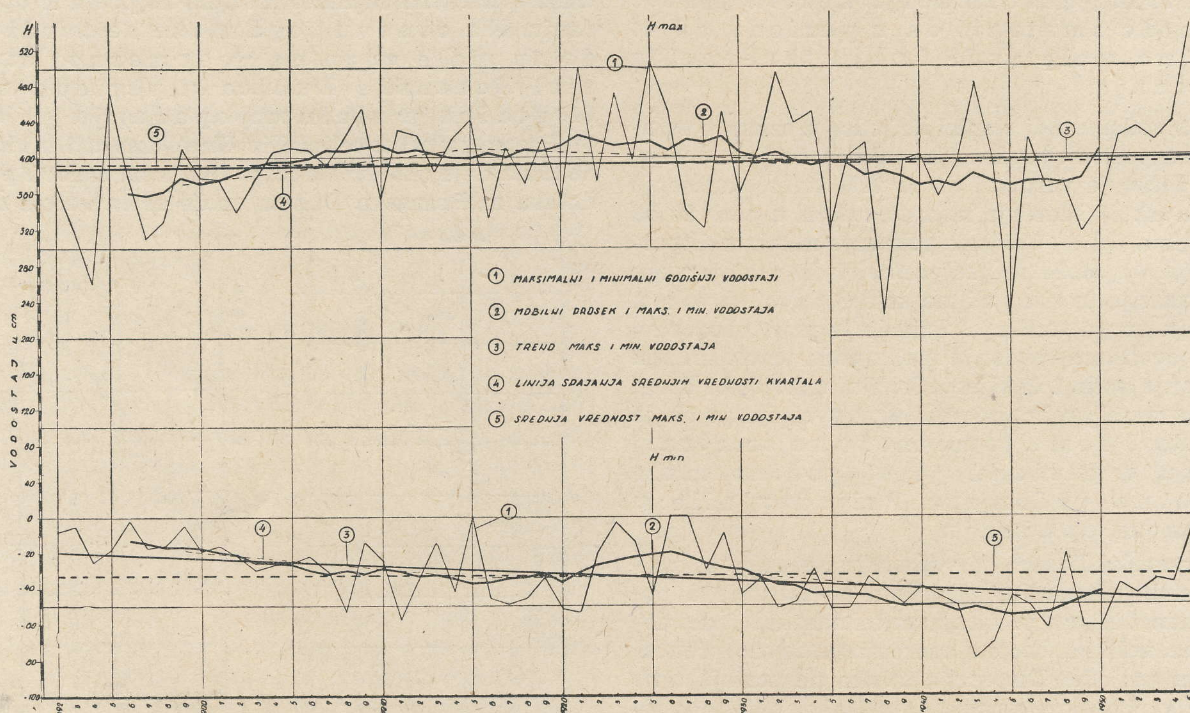


Sl. 5 — Maksimalni i minimalni godišnji vodostaji v. s. Prijedor

gurnošću tvrditi da su na Sani minimalne vode u posmatranim periodima u opadanju. Verovatno da izvesnog uticaja ima i deformacija korita, ali u svakom slučaju manje nego opadanje minimalnih voda. U prilog ovome govore i velike vode, koje na svim stanicama pokazuju tendenciju porasta. Hidrološka objašnjenja mogu se tražiti u intenzivnoj degradaciji šumskoga pokrivača u slivnom području Une.

4. Tendencija velikih voda

Na svim proučavanim vodomernim stanicama tendencija velikih voda je u porastu, sem stanice Prijedor gde velike vode pokazuju stagniranje.



Sl. 6 — Maksimalni i minimalni godišnji vodostaji v. s. Bosanska Dubica

Vodomerna stanica Bihać, za koju je u prethodnom poglavlju rečeno da se može smatrati pouzdanom, pokazuje stalnu tendenciju porasta. To lepo ilustruju mobilni prosek i trend (sl. 2) kao i srednje kvartalne vrednosti maksimalnih vodostaja:

1888—1900: $H_{sr} = 123{,}9$,
1901—1913: $H_{sr} = 134{,}5$,
1914—1927: $H_{sr} = 141{,}0$,
1928—1941: $H_{sr} = 140{,}0$.

Dodajući ovome i velike vode posle ponovnog postavljanja stanice 1949 godine, vidi se da će velike vode biti u porastu. Pri ponovnom postavljanju stanice kota »nule« je postavljena više za 35 cm, i ako se izvrši redukcija, dobiće se da srednji veliki vodostaj za period od 7 godina iznosi 151 cm, dok za proučavani period od 53 godine on iznosi 135 cm. I ovom približnom redukcijom dokazuje se ispravnost trenda ka porastu velikih voda. Na osnovu svega može se tvrditi da velike vode na vodomernoj stanici u Bihaću imaju u periodu od 53 godine tendenciju porasta i da ta tendencija postoji i u posleratnom periodu.

I na vodomernoj stanici Ključ mobilni prosek i trend (sl. 3) imaju tendenciju porasta. U poglavlju 3 govoreno je o stabilnosti korita. Bez obzira da li taj proces postoji ili ne, velike vode pokazuju nedvosmislenu tendenciju porasta. Čak bi se moglo ići tako daleko, pa tvrditi da fenomen povećanja velikih voda opravdava pretpostavku opadanja malih voda, s obzirom na to da povećanje velikih voda nije posledica tehničkih radova već promenjenih fizičkih uslova u slivu. Uzimajući u obzir i posleratni desetogodišnji period, gde trend pokazuje veliki intenzitet porasta, može se bez sumnje prihvatiti tendencija porasta velikih voda za vodomernu stanicu Ključ u periodu od 44 godine pa i za dalji period do kraja 1955 godine.

Trend i srednja vrednost velikih voda za vodomernu stanicu Prijedor se poklapaju (sl. 5), što može da navede na zaključak o stagniranju velikih voda na ovoj vodomernoj stanici. Ako se uzme u obzir i posleratni desetogodišnji period, trend bi pokazivao tendenciju porasta. Pet izostavljenih godina ne pretstavljaju ekstremne godine, da bi mogle promeniti pravac trenda. Prema tome, može se zaključiti da u posmatranom periodu od 47 godina velike vode pokazuju stagniranje. Međutim, ma da se ne raspolaže dužim periodom, kao na stanici Bosanska Dubica, na osnovu tendencije posleratnog desetogodišnjeg perioda može se verovati da su i na vodomernoj stanici Prijedor velike vode u porastu.

Isto tako i za Bosansku Dubicu može se zaključiti da su velike vode u stalnom porastu (sl. 6). Mobilni prosek i trend pokazuju tendenciju porasta, dok se kod malih voda zapaža opadanje.

U celom slivu Une, prema odabranim vodomernim stanicama velike vode imaju tendenciju porasta. Objašnjenje ovoga ne može se tražiti u radovima na regulisanju korita i podizanju nasipa za obranu od poplave, jer takvih radova nije ni bilo. Uzrok se mora tražiti u drugim faktorima. Intenzivna degradacija šumskog pokrivača sigurno je razlog koji ne treba potcenjivati. Eksploatisanje šuma u slivnom području Une vršilo se ranije a vrši se i danas. Sigurno je da treba proučiti utisak ovoga faktora na povećanje velikih voda. Interesantna je pojava katastrofalnih voda u dolini Sane i Une koje su nanele milionske štete. U periodu oktobar 1955 godine do juna 1956 godine, dakle u periodu od 8 meseci, desile su se tri katastrofalne poplave. Velike štete od tih poplava i njihovo rešenje u svakom slučaju nalazi potvrdu u ovoj studiji, a i studija opravdava svoju praktičnu stranu.

Velike vode imaju tendenciju porasta. Kakva će dalja tendencija biti, to zavisi od radova koje će se poduzeti u vezi sa tim. Ukoliko bi se pristupilo odbrani od velikih voda pomoću nasipa, tada je sigurno da će tendencija velikih voda i dalje biti k porastu. Ukroćeni oticaj nema mogućnosti izlivanja, znači vodostaj će rasti. Drukčije stoji stvar, ako se tom pitanju priđe u okviru kompleksnog vodoprivrednog rešenja. Stvaranje akumulacija, koje bi služile za odbranu od poplave a i u druge svrhe, sigurno bi smanjile velike vode i sa takvim tehničkim radovima može se govoriti o smanjenju velikih voda tj. o tendenciji opadanja. Bez obzira na to kakvi će radovi biti preduzeti, jasno je da se mora nešto preduzeti za odbranu od velikih voda, jer postoji tendencija porasta velikih voda u slivu Une.

Praktična strana izučavanja tendencije velikih voda ne leži samo u upoznavanju fenomena i preduzimanju odgovarajućih mera već ima značaja i pri izračunavanju verovatnoće pojave velikih voda. Raspored vodomernih stanica sa dugogodišnjim osmatranjem ili merenjima proticaja u slivu Une je nepovoljan. Ima dosta stanica sa deset ili malo više godina osmatranja, što pretstavlja donju granicu broja godina za računanje verovatnoće pojave velikih voda. Odnos tih perioda prema dugogodišnjim periodima na nekim proučavanim stanicama može dati okvire tačnosti raspoloživih kraćih perioda. Upoređenje mobilnih proseka na svim proučavanim stanicama pokazuje da im je tendencija uglavnom ista. Neka otstupanja nastaju usled različitih dužina perioda, ali ne u tolikoj meri da pokazuju suprotne tendencije a time i pogrešne rezultate, pa se bez velike bojazni može vršiti upoređenje raspoloživih perioda. Iz linija spajanja srednjih vrednosti kvartala može se videti da je najveća tendencija porasta velikih voda od početka osmatranih perioda pa do oko 1925 godine, a dalje je intenzitet priraštaja manji, odnosno opada, ali u generalnom smislu tendencija je k porastu. Znači, ako raspolažemo sa nekim periodom do 1925 godine sigurno će se dobiti drugi rezultati nego za prosek posle 1925 godine. Srednja vrednost velikih voda nije ista i to će se odraziti pri računanju verovatnoće pojave. Znajući to može se pri projektovanju usvojiti veća (manja) vrednost, koja će u sebi sadržati bar na neki način

određen koeficijenat sigurnosti. Za Bosansku Dubicu izračunata je verovatnoća pojave velikih voda za period od 63 godine i za period poslednjih 27 godina. Kako je tendencija porasta, to su dobijene veće vrednosti nego za duži period. Hiljadugodišnja voda se razlikuje za 60 m³/sek. Stogodišnja voda za 50 m³/sek. i dvadesetogodišnja voda za 43 m³/sek. Jasno je da prilikom dimenzionisanja, recimo, prelivnih organa za evakuaciju velikih voda, razlika od 60 m³/sek. bilo u jednom ili drugom smislu znači dosta. Sasvim je drugo pitanje tačnosti primenjene metode za proračun velikih voda, što nije svrha ove studije, već se ovde htelo pokazati da ima praktičnu vrednost proučavanje tendencije velikih voda u jednom slivu i njihov uticaj na ustaljene metode proračunavanja verovatnoće pojave velikih voda, kao i mera koje treba preduzeti u vezi dobivanja tendencije velikih voda.

5. Zaključak

1. Male vode gornjeg toka Une u periodu god. 1888—1941 ostale su praktično nepromenjene.

2. Male vode Sane u periodu god. 1892—1940 pokazuju tendenciju opadanja.

3. Male vode Une posle primanja voda Sane pokazuju tendenciju opadanja.

4. Velike vode slivnog područja Une u periodu od 1888 (1892) do 1940 (1955) godine pokazuju stalnu tendenciju porasta.

5. Prilikom računanja verovatnoće pojave velikih voda potrebno je voditi računa o tendencijama velikih voda u slivu.

6. Porast velikih voda u celom slivu Une neodložno nameće rešenje pitanja odbrane od velikih voda.

ZAVISNOST AKUMULACIJA OD GEOLOŠKOG SASTAVA I OD IZBORA PREGRADNIH MESTA U DOLINI REKE SANE

Ing. **Milutin Jevremović**, »Elektroprojekt« Sarajevo

Uvod

Hidroenergetsko korišćenje karsnih reka zahteva što detaljnije poznavanje geoloških i hidroloških karakteristika karsta. Geološki sastav i struktura terena imaju velik uticaj na akumulacione basene, a naročito su važni kada se radi o akumulacijama u karstu. Tu je karstifikacija obično duboka, a hidrološki odnosi nisu još uvek razjašnjeni, pa su zbog toga potrebna detaljna ispitivanja i posebne studije. Podzemna voda je često duboko ispod površine, a karstifikacija često dopire do najnižih erozionih useka. Poznavanje geološkog sastava i njegovog uticaja na hidrološke odnose u karsnim terenima pomažu nam pri odabiranju pregradnih mesta. Na osnovu geoloških podataka odabiremo profile na kojima postoje najmanje mogućnosti za gubljenje vode iz akumulacije.

Geološki problemi u karstu tretirani su ranije sa drugog stanovišta, pa nam postojeći podaci ne mogu mnogo koristiti kod akumulacija u karstu, jer je to specifičan problem i zahteva posebna ispitivanja. Na temelju svestranog istraživanja može se donositi odluka o podizanju brane i stvaranju akumulacije. Ako su geološke studije terena samo delimično izvršene, mogu se kasnije pojaviti nepredviđene teškoće. Površna ispitivanja mogu nas navesti na krive zaključke, da odbacimo pregradno mesto i da napustimo podizanje brane. Još je tragičnije, ako se na osnovu oskudnih geoloških podataka donese odluka o podizanju brane koja može ostati bez vode. Problemi akumulacija u karstu za nas su novi, nemamo iskustva, pa se zbog toga prilazi njima rezervisano. Geološke studije određenog terena moraju se obaviti pre projektovanja i na osnovu njih treba vršiti dalju razradu dotične oblasti. Kod nas često geološka ispitivanja idu uporedo sa projektovanjem, što ne bi smelo da bude, jer ako se ustanovi da geološki sastav ne dopušta stvaranje akumulacije, mora se menjati koncepcija, ili podizati brana sa neekonomičnim tehničkim osposobljavanjem akumulacije. Zbog toga, još prilikom izrade osnovnog rešenja treba detaljnije ispitati geološki sastav akumulacionog basena i šireg područja i zavisnost akumulacije od pregradnog mesta, tako da dalje studije ne menjaju osnovnu koncepciju već da vrše razradu osnovne zamisli.

Neki problemi akumulacija u karstu

Svaka akumulacija mora se osloniti na podlogu nepropusnu za vodu. U karstnom području ona je često duboka, nije otkrivena, i akumulacija se ne može na nju osloniti. Zbog toga smo prinuđeni da tražimo oslonac akumulacije u steni koja je manje propusna i kroz koju se neće gubiti velike količine vode. U području dinarskog karsta prva stepenica na koju se može osloniti akumulacija jeste verfenska serija. Na delovima gde izbija na površinu, i tamo gde je otkrivena, može imati velik značaj za akumulaciju.

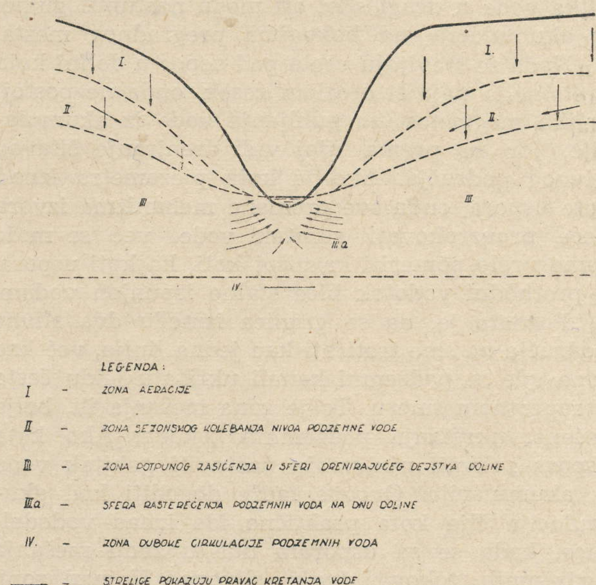
U području ljutog karsta verfenska serija nema praktični značaj za akumulacije, jer je krečnjačka masa moćna i reke nisu uspele da je preseku do kraja, nisu dospele do nepropusne podloge, gde im to ne dopuštaju njihovi donji bazisi (ušće reke čije su pritoke, ili morski nivo) koji

uslovljavaju eroziju reke. Zato za akumulacije moramo tražiti oslonca u drugim stenama t. j. u promeni litološkog sastava, koji utiče na stepen razvitka karstifikacije. Iznad verfena postoji nekoliko nepropusnih facija, koje vrše usporavanje karstifikacije. One nemaju regionalno prostranstvo, zastupljene su samo mestimično i imaju podređenu ulogu na čitavo karsno područje. Javljaju se manje više u izolovanim i lokalizovanim delovima, bez opšteg generalnog prostranstva. Njihovo prostranstvo je takovo da mogu imati veliki značaj za akumulacije. Često se akumulacije mogu samo na njih oslanjati.

Stene koje usporavaju karstifikaciju u karstu su: dolomiti svih geoloških formacija, laporovito-bituminozni krečnjaci lijasa i gornje kredni fliš. Na njih se može akumulacija osloniti, ali samo pod određenim uslovima; sve zavisi od stepena zakaršćenosti, strukture terena i hidroloških karakteristika dotične oblasti. Ove stene ipak, nisu idealne, jer se u njima ne može uvek postići akumulacija, budući da se nalaze u krečnjačkoj seriji, tektonski su oštećene, mestimično karstifikovane, pa je potrebno detaljno ispitivanje akumulacionih basena i bokova pregradnih mesta, kako bi se dobila što vernija slika o položaju i propusnosti dotične stene za vodu. Na temelju rezultata tih ispitivanja može se govoriti o mogućnosti akumulacija. Za akumulaciju je naročito važno ustanoviti tektonski položaj stena koji drži vodu, jer one utiču na hidrološke odnose, uslovljavaju položaj izdani, usmeravaju pravac kretanja podzemne vode, određuju visinu karsne izdani, što sve ima presudan uticaj na akumulaciju.

Geološki sastav i tektonska predisponiranost stena uslovljavaju položaj podzemne vode u karstu. Dosadašnja ispitivanja nisu uspela da objasne hidrološke odnose, cirkulaciju podzemne vode i položaj izdani u karstu. Podzemna voda gravitira prema opštem drenirajućem bazisu u jednoj oblasti. Tu ulogu imaju karsne reke, a podzemni tokovi gravitiraju prema njima. Normalno je očekivati penjanje izdani sa udaljavanjem od reke. Koliki je gradijent pada izdani i da li je on ravnomeran, ostaje još uvek otvoreno, samo se može reći, da se sa približavanjem uz reku pad znatno povećava. Položaj vrela u karstu uslovljen je brzinom razvoja normalne karstifikacije i brzinom usecanja korita karsne reke. Za oba procesa je važna tektonska predisponiranost i jednorodnost stena. Ako jedan od ova dva uticajna faktora nije zastupljen, karstifikacija može da zaostane iza erozije, ili pak da se razvija brže od nje; u tom slučaju podzemni tok zamenjuje površinski. Kada karstifikacija zaostaje za erozijom, vrela se nalaze iznad korita reke, postepeno se spuštaju, jer proces karstifikacije nije završen. Ispod glavnih vrela prema koritu pojavljuju se manja, čiji su kanali tek u razvoju koji će postepeno zameniti glavna vrela. Vrela sa uzlaznim sifonom ne ukazuju uvek na dubinu normalne karstifikacije, jer su ona u većini slučajeva nastala pod uticajem arteške karstifikacije.

Pravci kretanja podzemne vode u karstu i njihov nagib prema drenirajućem bazisu predstavio je D. S. Sokolov šematski (sl. 1.) On je izdvojio četiri zone sa različitim pravcima kretanja podzemne vode:



Sl. 1 — Šema kretanja karstnih voda (po D. S. Sokolovu)

I. Zona aeracije, u kojoj se voda kreće duž pukotina i karsnih kanala (ređe duž pora), prvenstveno u vertikalnom smeru.

II. Zona sezonskog kolebanja nivoa podzemne vode, sa periodskim smenjivanjem horizontalnog i vertikalnog kretanja podzemne vode.

III. Zona potpunog zasićenja, koja se nalazi u sferi drenirajućeg uticaja hidrografske mreže (sliva), sa kretanjem podzemne vode u pravcu većih dolina.

IV. Zona duboke cirkulacije podzemne vode, gde se voda kreće u pravcu drenirajućeg dejstva hidrografskog sliva.

Posljednja zona može se odrediti samo uslovno za datu dolinu, tako da je kretanje vode u toj zoni usmereno u pravcu dublje susedne doline ili da je vezano za opštu hidrografsku mrežu sa opštim bazisom oticaja.

Povlačenje granica između prvih triju zona praktično se vrši prilikom ispitivanja terena za akumulacije. Oscilacije piezometra poklapaju se sa prikazanom šemom kretanja podzemne vode. Minimalni nivo podzemne vode pretstavlja nivo stalne razbijene izdani u karstu. Maksimalni vodostaj može se tumačiti kao nivo karsne izdani, koja sezonski koleba. Za nas je važan nivo stalne izdani, jer se na njega mogu akumulacije osloniti.

Poseban je problem potapanje karstnih vrela kod većih akumulacija, jer mogu nastupiti promene u kretanju podzemne vode. Ako se vrela stavljaju pod veći pritisak, a u blizini se nalaze niže erozione doline, može voda promeniti svoj

pravac u smeru niže doline. Zbog toga je važno poznavanje piezometra šireg područja, a kota uspora ne sme biti iznad nivoa stalne izdani. Ako akumulacija zađe u zonu sezonskog kolebanja podzemne vode, još uvek ne mora doći do gubitka vode u drugi sliv, ali mogu nastupiti gubici iz akumulacije na bokovima pregradnog mesta.

Kada se stavljaju vrela pod uspor u dolini koja pretstavlja najniži erozioni zasek, onda ne postoji velika mogućnost za gubljenje vode iz akumulacije, jer se prema njoj vrši dreniranje čitavog slivnog područja. Ako je kota piezometra iznad kote uspora, onda sve promene mehanizma izvora neće prouzrokovati gubitak vode, već se može samo vrelo pomeriti ka višoj koti, ka koti uspora, a prethodni vodotok biće stalno ispunjen vodom.

Poznato je, da se granica između dva slivna područja ne sme tretirati kao jedna linija, već kao zona gde se podzemni kanali ukrštaju i idu često u suprotnom smeru. To je zona mešanja ili, bolje rečeno, ukrštanja podzemnih tokova. Ako kota uspora zahvati nju, može nastupiti gubitak vode iz akumulacije. Ovo se može dogoditi kod akumulacija čija kota praktično ide iznad vododelnice, kada se sa usporom uđe u zonu mešanja podzemnih tokova dvaju slivova. U ovoj zoni, kada prilikom bojenja dobijemo pozitivne rezultate, još uvek nismo sigurni da neće nastupiti gubitak vode. Bojenjem se dokazuje samo veza vodonosnih kanala i pukotina, no ne objašnjava se njihova veza sa višim suvim kanalima, koji mogu biti vezani sa susednim slivom. Takođe, bojenje nam ne može dati stepen razređenosti, kao ni međusobnu vezu tih kanala. U takvim slučajevima moraju se pored bojenja vršiti i dopunska ispitivanja, kako bi se dobilo što više podataka o podlozi na koju se uspor mora osloniti.

Sve ove elemente ne smemo potcenjivati, ako želimo akumulaciju bez velikih gubitaka vode. Svako slivno područje ima svoje specifičnosti i svaka akumulacija mora se detaljno ispitati, a upoređivanje akumulacija može se vršiti samo onda, ako ova imaju slične geološke, hidrološke i druge karakteristike.

Kratak prikaz geološkog sastava i strukture terena u dolini Sane

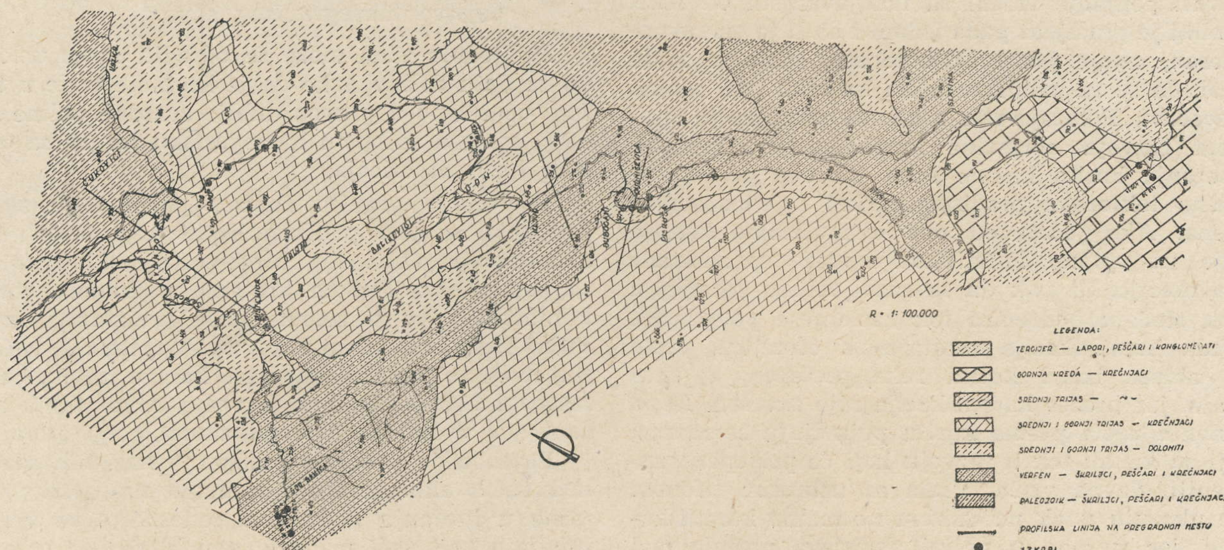
Dolina Sane i dolinske strane od izvora do ušća Sanice u Sanu izgrađene su od škriljaca, peščara i krečnjaka permo-karbona i verfena, trijaskih dolomita i krečnjaka, zatim od krednih krečnjaka i slatkovodnih lapora, glina i konglomerata.

Paleozojske stene imaju malo prostranstvo, nalaze se između potoka Kozice, reke Sane i Trnjaka, koji se prostiru na severoistok prema selu Čukoviću.

Trijaski sedimenti su najviše zastupljeni u dolini Sane. Verfenski škriljci i peščari sa proslojavanjem pločastih krečnjaka nalaze se uzvodno od Ključa sve do sela Slatine i vrela Ribnika. Od Ključa oni se nastavljaju dalje na severozapad u pravcu izvora Sanice. Manja partija verfena nalazi se oko Vrhpolja i u dolini potoka Kozice, zatim u blizini sela Stanivukovića kod kote 619. Krečnjaci i dolomiti nalaze se na prostoru Vrhpolje—Ključ, zatim između Piskuše i Dubočana, odakle se dižu iznad verfena u vidu krečnjačkog platoa prema zapadu (slika 2).

Krečnjaci gornje grede nalaze se oko izvorišnog dela Sane, koja se kroz njih probija od izvora do sela Slatine, sa manjim prekidima.

Oligomiocenski sedimenti imaju malo prostranstvo, izgrađuju kotlinu Zgona, zatim se nalaze na krečnjačkom platou oko Obljaja i Balijevića između Vrhpolja i Ključa. Dolina Medne je takođe u oligomiocenskoj seriji. Slatkovodni sedimenti zadržali su se samo u nižim delovima, većinom u negativnim tektonskim oblicima gde je erozija manje delovala te su se tako i sačuvali.



Sl. 2 — Geološka karta doline reke Sane

Stene kroz koje se usekla reka Sana ubrane su i poremećene. Izdvajaju se dve tektonske jedinice i to: antiklinala Ključ i sinklinala između Ključa i Vrhpolja.

Antiklinala Ključ ima dinarski pravac pružanja. Proteže se od Jabušnice preko Ključa sve do Gornje Sanice. Jezgro antiklinale je od verfenskih škriljaca, peščara i krečnjaka. Samo mestimično se nalaze otkrivene paleozojske stene. Granica između paleozoika i verfena nije oštra i teško ju je tačno odrediti, jer postoji postepeni prelaz. Preko verfena diskordantno naležu trijaski dolomiti i krečnjaci, koji također imaju antiklinalni položaj.

Između Vrhpolja i Ključa teren je sinklinalno ubran. Krečnjaci i dolomiti su u sinklinali, a na obodima se nalazi verfen i paleozoik. Starije stene izdignute su na krilima sinklinale, koja pretstavljaju ujedno i krila antiklinale. Sinklinala tone između Vrhpolja i Pištenice, i na tom delu verfen je nešto više potonuo pa ne izbija na površinu. Sinklinala krečnjaka okružena je skoro sa svih strana verfenskim ili poleozojskim škriljcima, peščarima i krečnjacima.

Geološki uslovi za stvaranje akumulacija u dolini Sane od izvora do ušća Sanice u Sanu

Geološki sastav i tektonska građa terena omogućavaju podizanje brana sa akumulacijama u dolini Sane. One se mogu osloniti na nepropusne za vodu verfenske i paleozojske škriljce peščare i krečnjake. Tektonski položaj nepropusnih stena naročito je povoljan za akumulacije na Sani, dok su krečnjaci i dolomiti vrlo nepovoljni, jer su podlegli karstifikaciji i postali probojni za vodu. Karstifikacija se spustila do nivoa reke, pa je podzemna voda duboko ispod površine. Vrela se nalaze u nivou reke ili neposredno iznad nje. Kod Durmiševice vrela su u koritu reke, a među njima je jedno sa uzlaznim sifonom. Prema položaju ovih vrela može se zaključiti da je karstifikacija prodrla do nivoa reke. Nizvodno od Ključa postoje manja vrela, većinom neposredno iznad nivoa reke. Karstifikacija se nije sasvim spustila do rečnog nivoa; ne zapažaju se vrela sa uzlaznim sifonom.

Antiklinala Ključ koju Sana probija u blizini Ključa deli dolinu reke na dva dela što se tiče mogućnosti ostvarenja akumulacija. Uzvodni deo doline mnogo je povoljniji od nizvodnog, jer će najveći deo akumulacije biti u verfenu. Nizvodno od Ključa akumulacija je skoro čitava u karstu i uslovi za njeno ostvarenje biće nešto teži.

Izgledi za akumulaciju od izvora do Ključa

Dolina Sane od vrela do Ključa izgrađena je od verfenskih, srednje-trijaskih, gornje-trijaskih, gornje-krednih i slatkovodnih tercijarnih sedimenata.

Verfenski škriljci, peščari i krečnjaci prostiru se od sela Slatine prema zapadu i idu do Gornjeg Ribnika, odakle se serija nastavlja ka severu sa obe strane reke sve do sela Piskuše. Ovde je na levoj obali verfen prekinut i nastavlja se dalje od Dubočana do Ključa (sl. 2).

Trijaski dolomiti i krečnjaci imaju relativno malo prostranstvo u dolini Sane i Ribnika uzvodno od Ključa. Oni se nalaze oko vrela Ribnika i između sela Piskuše i Dubočana, gde se spuštaju u korito reke i prelaze sa desne strane.

Od Gornje Slatine uzvodno do Sanskih vrela dolina je usečena u gornjim krednim krečnjacima, koji su jako karstifikovani. Manji deo doline nalazi se u slatkovodnom tercijeru.

Izgledi za stvaranje akumulacije uzvodno od Slatine u krednim krečnjacima nisu povoljni i akumulaciju je teško ostvariti, jer su krečnjaci jako karstifikovani. Gubici vode bili bi suviše veliki, a tehničko osposobljavanje neekonomično.

Geološki uslovi za akumulaciju nizvodno od Donje Slatine do Ključa mnogo su povoljniji, jer bi akumulacija bila uglavnom u verfenskim krečnjacima, peščarima i škriljcima koji su nepropusni za vodu. Manji deo akumulacije nalazio bi se u karstifikovanim krečnjacima i dolomitima trijaske starosti. Oni se nalaze između sela Piskuše i Gornjih Dubočana. U ovoj seriji krečnjaka i dolomita karstifikacija se spustila do nivoa reke, pa su oni nepovoljni za akumulaciju, jer se voda može gubiti. Međutim, kako antiklinala Ključ ima dinarski pravac pružanja, a leži dijagonalno u odnosu na rečni tok, malo je verovatno da će doći do gubitka vode iz akumulacije, jer verfensko jezgro antiklinale čini nepropusnu barijeru. Voda mora obići antiklinalu, da bi se vratila u Sanu, ili pak da nastavi dalje podzemnim tokom između Unca i Sane, da bi se pojavila u Uni. To bi bili suviše dugi podzemni putevi i ovakva mogućnost gubitka vode iz akumulacije je skoro neprihvatljiva, jer ne postoje karstificirane doline u ovim pravcima, koje bi ukazivale na razrađenost karstifikacije u navedenom smeru. Pojava verfena na obodnim delovima uslovila je do izvesne mere usporavanja karstifikacije.

Postoji još jedna mogućnost gubitka vode iz akumulacije na obodu barijere preko izvora Sanice. Kota uspora predviđa se na 320,0, a vrela Sanice (pećina 208,70 m, Varga 216,50 m i Jasenak 210,47 m) su niža za 100 m uspora, pa se mogu očekivati gubici preko ovih vrela ili na kontaktu između verfena i krečnjaka (slika 2). Ako uopšte dođe do gubitka vode iz akumulacije, ona je moguća samo na vrelima Sanice ili na kontaktu krečnjaka i dolomita.

Uspor će zahvatiti jedan deo trijaskih krečnjaka i dolomita uzvodno od Gornjeg Ribnika i vrelo Ribnik. Vrelo se nalazi na koti 300, a akumulacija ide do kote 320. Krečnjaci i dolomiti su zbog karstifikacije nepovoljni za akumulaciju, jer su propusni za vodu. Hidrostatički pritisak može uticati na promenu pravca kretanja vode vrela Ribnik. Što se tiče gubitka vode na ovom delu akumulacionog basena kroz krečnjake i vrela (ako promene pravac podzemnog toka), razlikovao bi se od već navedenog samo u tome što bi put pod-

zemnoj vodi bio znatno duži, a time se i mogućnost gubitka vode smanjuje u gornjem delu basena. Dužina puta i položaj izdani u krečnjačkom platou neće dopustiti probijanje podzemne vode do vrela Sanice, jer ne postoje orijentisane tektonske zone kao ni karstificirane doline pravca Ribnik—vrela Sanice. Akumulacija se čini mogućom potapanjem vrela kod Durmiševice i Ribnika, zahvaljujući tektonskom položaju verfena. U prilog akumulaciji idu:

1) Verfenska antiklinala koja ima pravac severozapad—jugoistok, proteže se između Ključa i Gornje Sanice, a nije isključeno da ide i dalje na severozapad (sl. 2).

2) Podzemna vododelnica ne dopušta bežanje vode iz akumulacije u sliv Unca, jer je kota Unca viša oko 100 m od kote uspora.

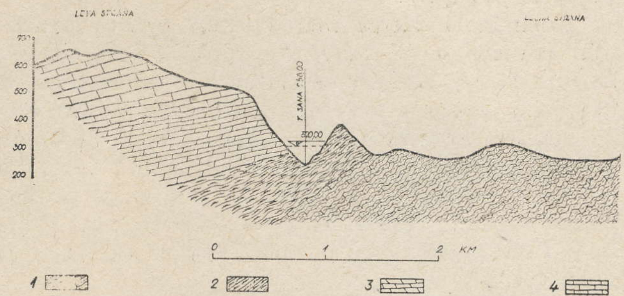
3) Dve barijere se sučeljavaju, antiklinala Ključ—Sanica i vododelnica Sana—Unac, te ne dopuštaju gubitak i probijanje podzemne vode iz akumulacije u pravcu Sane ili Une.

4) S obzirom na geološki sastav i strukturu terena, piezometarski nivo bi trebao da se penje sa udaljenošću od rečne doline i treba ga očekivati iznad kote uspora saglasno s cirkulacijom podzemnih voda u karstu (sl. 1).

Sigurnost akumulacije u zavisnosti od izbora pregradnog mesta

Sigurnost akumulacije zavisi od izbora pregradnog profila. Uzvodno od Ključa dolaze u obzir dva profila za pregradu, pri kojima se ne dobija ista sigurnost akumulacije. Sve zavisi od toga, kakav je geološki odnos šireg područja prema pregradnom mestu. Razmotrićemo sigurnost akumulacije i njenu zavisnost od pregradnog mesta. Pomenuta dva pregradna profila koja dolaze u obzir za ovu akumulaciju jesu: »Ključ«, koji se nalazi oko 0,5 km uzvodno od Ključa i »Durmiševica«, oko 6 km uzvodno od Ključa.

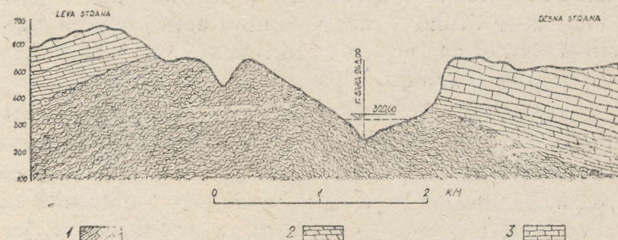
Pregradno mesto »Durmiševica« (sl. 4) morfološki je povoljno, ali se nalazi u krečnjacima koji su propusni za vodu. Gubici vode na levom boku mogu biti veliki, jer je krečnjak karstifikovan i probojan za vodu. Na pregradnom mestu nalazi se veći broj vrela, od kojih su neka sa uzlaznim sifonom. Sa ovom pregradom ne može se postići sigurnost akumulacije, jer se ona ne može osloniti na podlogu nepropusnu za vodu.



Sl. 4 — Poprečni geološki profil na pregradnom mestu Durmiševica

Legenda:
1. — Škriljci, peščari, krečnjaci — verfen
2. — Krečnjaci sa rožnacima — srednji trijas
3. — Dolomiti } srednji i gornji trijas
4. — Krečnjaci } srednji i gornji trijas

Pregradno mesto »Ključ« nešto je šire od prethodnog, ali se zato nalazi u nepropusnim stenama, gde neće doći do gubitka vode. Sa ovom pregradom potapa se deo terena kod Durmiševice, ali se dobija veća sigurnost akumulacije, jer ne postoji mogućnost gubitka vode na bokovima, budući da su izgrađeni od verfenskih škriljaca, peščara i krečnjaka (sl. 3). Tektonski sklop i raspored stena nepropusnih za vodu mnogo je povoljniji za akumulaciju Ključ nego Durmiševicu.



Sl. 3 — Poprečni geološki profil na pregradnom mestu Ključ

Legenda:
1. — Škriljci, peščari, krečnjaci — verfen
2. — Dolomiti } srednji i gornji trijas
3. — Krečnjaci } srednji i gornji trijas

Izgledi za stvaranje akumulacije sa stanovišta geologije u dolini Sane između Ključa i ušća Sanice u Sanu

Sana se probija kanjonom kroz krečnjački masiv od Ključa sve do Vrhpolja. Kanjon je uzak i neprohodan, a reka ima pad oko 60 m na dužini od 15 km. Geološki sastav rečne doline i dolinskih strana je jednostavan, zastupljeni su krečnjaci i dolomiti koji su karstifikovani i propusni za vodu. Oni su nepovoljni za akumulaciju, koja se na prvi pogled čini nemogućom (sl. 2). Geološki sastav šireg područja nešto je raznovrsniji i pruža izvesnu mogućnost za postizanje akumulacije, ali samo pod strogo određenim uslovima, tj. u zavisnosti od izbora pregradnog profila.

Tektonski položaj i način prostiranja verfena omogućavaju uspešnu akumulaciju bez obzira na to što se radi o dubokom i razrađenom karstu. Na obodima sinklinale izdiže se verfen, koji prelazi postepeno u antiklinalu. Kako verfen zatvara sinklinalu skoro sa svih strana sa manjim prekidima, može se pretpostaviti da neće doći do gubitka vode iz akumulacije (sl. 2 i 5). Verfen je prekinut između Pištenice i Vrhpolja, jer tu sinklinala tone.

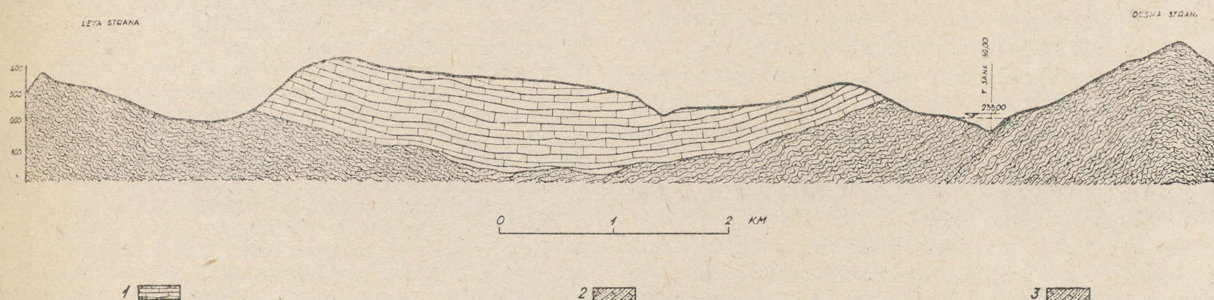
Krečnjaci su karstifikovani, a karstifikacija se spustila duboko ispod površine. Šire područje obiluje vrtačama, čija dubina ide do 10 i više metara, i ukazuje nam na specifičnost razvitka karsta u ovom području. Plato je izbušen udubljenjima kao lice nagrđeno boginjama. Karstifika-

cija je bila sporija od usecanja kanjona i nije se spustila do samog nivoa reke. Vrela se nalaze obično nekoliko metara iznad korita. Položaj vrela ukazuje nam na to da je karstifikacija mlada i da još uvek nije završena. Prema tome, nivo stalne izdani na ovom području treba očekivati na višim kotama.

Voda se može gubiti iz akumulacije na potezu između Pištenice i Vrhpolja, jer tu sinklinala tone i verfen se spušta ispod kote uspora. Samo treba računati da se piezometarski nivo penje sa udaljenošću od reke (sl. 1), i na tom području morao bi biti visok, jer pri samom obodu sinklinale krečnjak nije jako karstifikovan.

bilo bi skuplje od same brane, jer bi čitava akumulacija bila u zakaršćenim krečnjacima. Voda bi se gubila na sve strane kroz krečnjake, jer na tom delu nemamo oslonca ni za zavesu ni za branu. Na pregradno mesto ne utiče struktura terena, jer nije prilagođeno geološkoj građi šire oblasti. Ako razmatramo mogućnost ostvarenja akumulacije sa ovom pregradom, vidimo da geološki sastav i struktura terena nisu povoljni i da ne dopuštaju akumulaciju s obzirom na to da ona nema oslonca.

Međutim, ako razmatramo mogućnost stvaranja akumulacije sa pregradnim profilom Vrhpolje, izgledi su znatno bolji, jer su geološki uslovi



Sl. 5 — Poprečni geološki profil na pregradnom mestu Vrhpolje

Legenda:

1. — Krečnjaci — srednji i gornji trijas
2. — Škriljci, peščari, krečnjaci — verfen
3. — Škriljci, peščari, krečnjaci — poleozoik

Kota uspora zavisi od položaja piezometra između Vrhpolja i Pištenice kao i od položaja verfena. Praktično gubici vode iz karstifikovane sinklinale, u kojoj bi se stvarala akumulacija, mogu biti samo na potezu gde sinklinala tone (sl. 5) Kako najveći deo podzemne vode gravitira prema Sani, može se smatrati da neće nastupiti veći gubici iz akumulacije.

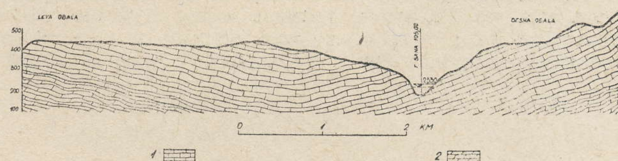
U ovako zakaršćenom terenu stvorile bi se dve akumulacije: podzemna i nadzemna, bez većih gubitaka vode, to pre što u dolini Sanice između Pištenice i Vrhpolja nema većih vrela a dreniranje platoa vrši se u pravcu Sane.

Izbor pregradnog mesta za akumulaciju u zavisnosti od geološkog sastava

Videli smo da se ipak može postići akumulacija između Ključa i Vrhpolja u dolini Sane, ali samo sa pregradom koja geološki dopušta akumulaciju. Ako pregradno mesto postavimo u karstifikovanom krečnjaku, akumulacija je skoro sasvim neostvarljiva, jer je propusnost bokova za vodu velika.

Za akumulaciju na ovom potezu imamo dva pregradna mesta koja mogu doći u obzir. Sa topografske strane najbolji profil je u kanjonu kod Starog Grada (sl. 6). Profil je u karstifikovanom krečnjaku, i na ovome mestu ne može se podići visoka brana, pa je skoro nemoguće ostvariti ekonomičnu akumulaciju. Tehničko osposobljavanje

povoljniji. Pregradno mesto se nalazi u stenama nepropusnim za vodu: u peščarima, škriljcima i krečnjacima (sl. 5), pa neće doći do gubitka vode iz akumulacije na bokovima i ispod brane. Jedina mogućnost gubitka vode iz akumulacije je između Vrhpolja i Pištenice, jer tu verfen tone zajedno sa sinklinalom. Sa ovom pregradom isključujemo gubitke vode na bokovima zahvaljujući geološkom sastavu i strukturi terena (sl. 2 i 5). Zakaršćenost terena omogućiće i podzemnu akumulaciju bez gubitka vode, pa će se kubatura basena znatno povećati. Ovom pregradom čitav se problem gubitka vode svodi samo na mesto gde sinklinala tone. Taj deo može se tehničkim merama osposobiti za akumulaciju, jer se zavesa može vezati za piezometarski nivo, ako je on ispod kote uspo-



Sl. 6 — Poprečni geološki profil na pregradnom mestu Grad

Legenda:

1. — Krečnjaci } srednji i gornji trijas
2. — Dolomiti } srednji i gornji trijas

ra. Zahvaljujući strukturi šireg područja, može se smatrati da neće doći do promene režima podzemne vode i do velikih gubitaka iz akumulacije.

Iz ovog se vidi da pregradno mesto treba prilagođavati geološkim prilikama i strukturi terena, da bi se postigle što ekonomičnije akumulacije sa minimalnim gubicima vode.

Zaključak

Geološki sastav i struktura terena omogućavaju akumulacije u dolini Sane. Antiklinala Ključ—Sanica omogućava stvaranje sigurne akumulacije uzvodno od Ključa. Ne postiže se sigurnost akumulacije sa pregradom »Durmiševica«, kao što je na profilu »Ključ«, jer prva nije prilagođena geološkom sastavu i strukturi terena.

Od Ključa do Vrhpolja Sana se probila kroz karsni teren. Akumulaciju je skoro nemoguće postići na pregradnom profilu Grad, jer nema oslonca koji može držati vodu. Voda bi se gubila na sve strane, a tehničko osposobljavanje bilo bi suviše skupo i neekonomično. Pregradom Vrhpolje akumulacija se može ostvariti, jer se oslanja na podlogu nepropusnu za vodu. Struktura terena je naročito povoljna za profil Vrhpolje i omogućiće stvaranje podzemne i nadzemne akumulacije sa minimalnim gubicima vode.

Literatura

Ovčinnikov M. A.: Obščaja gidrogeologija, 1955 godine.

Cvijić Jovan: Geomorfologija I, 1924, Geomorfologija II, 1926.

Stepanović Branko: Kriterij za istraživanje položaja geohidroloških razvođa u krasu (rukopis).

Katzer dr. F.: Karst und Karsthydrographie, 1909.

Antun Stepinac, C. E., Elektroprojekt, Zagreb

About the water regime of the river Neretva with special attention to Jablanica

In this study the hydrological problem of the river Neretva, its average periodical discharge condition and the extremes, is analysed. Since hydrological magnitudes have a considerable influence on the economical building of hydro-electrical plants, this study clearly shows the broadness with which a single key point of a river and the corresponding catchment area has to be regarded if correct results wish to be obtained. In the case of the river Neretva the emphasis has been put on Jablanica because a big hydro-electric plant has been build there and because at this place regularly uncertain discharge data have been obtained. By connecting Jablanica on the river Neretva with four key points of the whole catchment area and by correlating with the neighboring river system Trebišnjica, mean as well as extreme discharge values, which can occure at Jablanica, have been obtained.

By such a treatement of hydrological data a mean discharge value of 102.7 m³/h for Jablanica has been obtained. Readings of 31 years were used for this analyses. Previous values were 115.0 m³/h and more. Actual specific flows and run-off coefficints could have not satisfied those values.

Ing. Stepinac A., Elektroprojekt, Zagreb

Le régime d' écoulement de la rivière Neretva

On étudie l'écoulement périodique moyen et ses valeurs extrêmes. Les grandeurs hydrologiques ont une influence decisive à l'économie des aménagements hydrotechniques. L'étude s'occupe du critère à admettre pour arriver aux conclusions corectes, quand on exploit les observations d'un point clef du cours d'eau resp. du bassin versant. Dans le cas de la Neretva, on a pour cette étude utilisé le profil de Jablanica. Ce choix était justifié par deux raisons: d'abord, dans ce profil se trouve actuellement une grande centrale hydroéléctrique et d'autre part, les débits mesurés dans ce profil donnaient constamment des valeurs dont la précision laissait à desirer. Reliant le profil Jablanica aux 4 points-clef du bassin versant et par correlation au bassin voisin de la Trebišnjica, on a obtenu pour le débit moyen et les extrèmes, des valeurs corrigées qui, selon l'auteur, sont plus près de la realité. Pour cette étude on a utilisé 31 années d'observation. Par cette méthode on a calculé le débit moyen périodique de la Neretva, en trouvant une valeur de 102,7 m³/sec. Cette valeur diffère de l'ancienne qui depassait 115 m³/sec mais qui ne puvait pas être justifiée par les débits specifiques réels, ni par des coefficients de ruissellement.

Miodrag Pavlović, C. E., Elektroprojekt, Sarajevo

A contribution to the knowledge of high and low waters of the catchment area of the river Una

In the whole catchment area of the river Una, four observation points, with an observation period of 44 to 64 years, have been selected. With the mobile average and the trend for these observation points during the mentioned period, it was stated that the high waters are on a constant rise, while the low waters are on the decline. This has certainly an influence on the calculation of probability of occurence of high waters and has to be taken into account in design as well as in construction. This conclusion is the practical value of this study.

Ing. Pavlović M., Elektroprojekt, Sarajevo

Essais sur la connaissence des valeurs extrèmes de débits des eaux du bassin versant de la Una

On a choisi 4 stations hydrométriques dans le bassin versant de la rivière Una, disposant chacune d'une période d'observation de niveaux de 44 à 64 années. L'utilité de cette étude consiste dans la constatation que les crues augmentent et les étiages diminues constamment avec le temps. Il est certain, que ce phenomène ne restera sans consequence au calcul de probabilité des débits de crues, de même qu' aux projets des aménagements de cette rivière.

Tehničko i ekonomsko značenje laboratorijskih ispitivanja i primjena za projektiranje i izvedbu hidrograđevinskih objekata

ODREĐIVANJE PROPUSNE MOĆI VEŠTAČKIH I PRIRODNIH KORITA POMOĆU NOVE METODE EKSTRAPOLACIJE I EKONOMSKO ZNAČENJE TE METODE

Dr. ing. **Milovan Goljevšček**, Vodogradbeni laboratorij pri tehniški fakulteti univerze v Ljubljani

Autor ovoga članka objavio je prošle godine u jednoj publikaciji [1] Vodogradbenog laboratorija pri Tehničkom fakultetu Univerziteta u Ljubljani teoretske osnove i fizikalnu suštinu Froudova broja i pokazao njegovu praktičnu primenljivost pri određivanju propusne moći veštačkih i prirodnih vodotoka od najmanjih padova 0,24⁰/₀₀ pa do padova većih od 700⁰/₀₀.

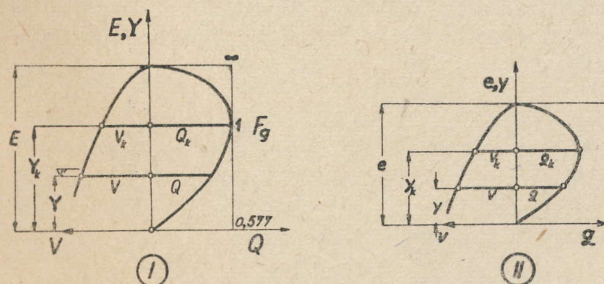
U tom članku autor je ograničio svoje izvode pre svega na najosnovniji prikaz suštine toga bezdimenzionalnog broja, dok je glavni deo članka posvetio objašnjenju gore pomenute nove metode ekstrapolacije i njezinog ekonomskog značenja. Tom prilikom je takođe objavljen i veći deo dosada obrađenog dokaznog materijala.

1. Uvod

Svako kretanje vode u veštačkim i prirodnim koritima ima svoju određenu karakteristiku, koja ostaje samo tako dugo nepromenjena, dok se ne promeni veličina otpora kretanju vode u koritu. Ta se karakteristika može u analitičkom obliku izraziti novim bezdimenzionalnim brojem

$$F_g = \frac{V_k}{V}, \tag{1}$$

koji pretstavlja, kako to pokazuje slika 1-I, odnos između kritične brzine V_k na prelazu iz mirnog u silovito kretanje i srednje brzine proticaja u koritu (V).



Sl. 1 — Prikaz hidrodinamičkih parametara za kretanje vode sa slobodnim ogledalom u prirodi (I), odnosno na modelu (II) za slučaj jednake širine oba korita.

Na osnovu gore navedene pretpostavke, taj bezdimenzionalni broj mora ostati konstantnim u domenu onih proticaja, pri čijoj promeni otpori kretanju vode u koritu ne rastu uporedo s povećanjem protoka.

U takvom slučaju gore navedeni broj F_g postaje pri ravnomernom stacionarnom kretanju vode konstantan i nezavisan od promene dubine vode u koritu (Y).

$$F_g = f(Y) = \text{const.} \tag{2}$$

Analizirajući značenje jednačine (2) za primer dva različita vodna stanja (e, q, y, v) i (E, Q, Y, V), koja se mogu pojaviti u jednom istom koritu (slika 1-I-II), vidi se, da oba vodna stanja moraju zadovoljiti uslovnu jednačinu u obliku:

$$F_{g(I)} = F_{g(II)} = F_g \cdot \text{const.}, \tag{3}$$

odnosno

$$\frac{V_k}{V} = \frac{v_k}{v} F_g \cdot \text{const.}, \tag{4}$$

odakle dobivamo

$$F_g = \frac{(2/3\, g\, E)^{1/2}}{V} = 0{,}816 \frac{(gE)^{1/2}}{V} = \frac{0{,}816}{(F)^{1/2}} \tag{5}$$

pri čemu se primećuje, da je u izrazu za Froudov broj $F = \frac{V^2}{Lg}$ linearna vrednost (L) zamenjena s isto tako linearnom vrednošću (E).

Iz toga izlazi, da vrednost F_g pretstavlja u suštini samo novi oblik Froudovog broja (F). Stoga moraju među pojedinim parametrima dvaju proticaja I i II u jednom te istom koritu važiti sva poznata pravila Froudovog zakona prenošenja. Ali tada u vodi koja se kreće moraju da prevlađuju sile teže i inercije u odnosu na sile trenja.

Slično Froudovom broju (F), također je novi oblik (F_g) sposoban da definiše razna stanja u koritu, na pr.:

mirno stanje oticanja	$F_g > 1$,
kritično stanje oticanja . . .	$F_g = 1$,
silovito stanje oticanja . . .	$F_g < 1$,
stanje mirovanja	$F_g = \infty$,
slobodno padanje	$F_g = 0{,}577$.

Jasno je, da upotreba poznatih Froudovih uslova sličnosti modela i prirode zahteva i za izučavanje uslova oticanja u jednom te istom koritu još dosta brižljivog proučavanja većeg broja tačno izvršenih hidrauličkih merenja različitih

proticaja u veštačkim i prirodnim koritima, pre nego što bi se oni primenili na sve u praksi moguće slučajeve.

2. Odredba krive proticaja metodom ekstrapolacije

Na osnovu ispitivanja nekih egzaktno izmerenih krivih proticaja, utvrđenih za veštačke i prirodne vodotoke na modelu ili u prirodi, moglo se utvrditi, da jednačina (2) važi za padove dna korita odnosno linije energije od 0,24‰ pa nadalje, ako se u koritu razvije mirni tok dovoljne turbulencije, pa do pada 762‰, kada se tok nalazi u silovitom kretanju i kada je voda izmešana sa vazduhom do granice zasićenosti.

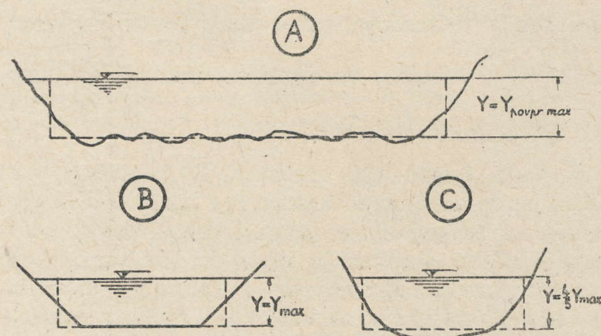
Ipak, ta su ispitivanja pokazala, da jednačina (2) važi za mirni tok samo ako je dubina vode prešla minimalnu vrednost $y = 1{,}5$ m.

Otuda dolazimo do poznatog zaključka, da je uticaj rapavosti zidova korita najveći pri najnižim vodostajima i da pri njihovom povećanju taj uticaj osetno opada, dok ne dostigne pri dubinama većim od 1,5 m neku stalnu i beznačajnu vrednost.

Veliki praktični značaj jednačine (2) sastoji se u tome, što se propusna moć veštačkog ili prirodnog vodotoka pri svim vodostajima većim od 1,5 m može utvrditi pomoću bezdimenzionalnog broja (F_g), koji je bio utvrđen za merni profil na osnovu samo jednog egzaktno izvršenog hidrometriskog merenja.

Pri obradi konkretnog primera, mogu se na osnovu jednog hidrometriskog merenja, izvršenog pri ravnomernom kretanju vode u koritu i većoj dubini $Y_1 > 1{,}5$ m, utvrditi ovi podaci:

Q_1 . . . . . . proticaj kroz profil u m³/s,
F_1 . . . . . . površina preseka vode u m²,
$Y_1 > 1{,}5$ m . . . . odlučujuća dubina u m.



Sl. 2 — Uputstvo za određivanje odlučujuće dubine (Y) u rečnim profilima (A) u kanalima trapeznog oblika (B) i kanalima paraboličnog oblika (C).

Kao odlučujuću treba pri širokim rečnim koritima usvojiti srednju dubinu izravnatog dna reke, slika 2-A, pri kanalima trapezastog oblika maksimalnu dubinu, slika 2-B, a kod plićih paraboličnih korita, slika 2-C, bi verovatno zadovoljilo da se usvoji $Y_1 \cong \frac{4}{5} Y_{max}$, no ta se vrednost u konkretnom slučaju još nije mogla tačnije utvrditi.

Sem tih parametara, treba geodetski odrediti ceo rečni profil i u njemu označiti nivo vode konstatovan za vreme merenja.

Izračunavanje bezdimenzionalnog broja F_g treba izvršiti po ovom postupku:

(6) Srednja brzina $V_1 = \frac{Q_1}{F_1}$.

(7) Visina linije energije $E_1 = Y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$.

Iz jednačine (1) sledi bezdimenzionalni broj

(8) $F_g = \frac{V_{1k}}{V_1} = \frac{(2/3\, g\, E_1)^{1/2}}{V_1} = 2{,}56\, \frac{E_1^{1/2}}{V_1}$.

Izračunavanje ostalih tačaka konsumpcione krive u mernom profilu reke za dubine Y_2 do Y_n može se izvršiti na osnovu ranije utvrđenog broja F_g narednim postupkom ekstrapolacije.

Izaberemo novo E_2.

Izračunamo

iz jednačine (8) . . . $V_2 = 2{,}56\, \frac{E_2^{1/2}}{F_g}$,

iz jednačine (7) . . . $Y_2 = E_2 - \frac{V_2^2}{2g}$.

Novu proticajnu površinu odredimo na osnovu geodetskog snimanja mernog profila, ucrtavajući u nju novu vrednost Y_2, iz čega sledi

(9) $Q_2 = V_2 F_2$,

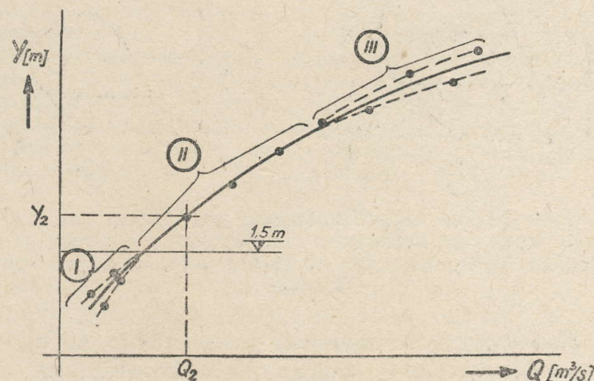
(10) $B_2 = \frac{F_2}{Y_2}$,

čime je dobivena sledeća tačka krive proticaja u mernom profilu.

Treba upozoriti, da gore navedeni računi važe samo ako su hidrometriska merenja izvršena pri stacionarno-ravnomernom stanju oticanja u mernom profilu. U takvom slučaju moraju izmereni odnosno sračunati parametri da zadovolje u praktičnim granicama uslovnu jednačinu

(11) $Y_2^3 - Y_2^2\, E_2 + \frac{Q_2^2}{2gB_2} = 0$.

Ako se takva merenja vrše pri manjim dubinama, između 1,5 i 2,5 m, taj je uslov većinom dovoljno tačno ispunjen. Pri velikim dubinama, koje izazivaju izrazitiji valovi visokih voda, taj je uslov retko kada ispunjen na praktično zadovoljavajući način.



Slika 3

Naime, imajući u vidu iskustva pri odredbi proticajne krive, treba napomenuti, da se kod mnogih YQ-dijagrama (slika 3) mogu primetiti tri posebna područja. Tako na primer, kod reka sa dosta nanosa, hidrometriska merenja malih voda pokazuju veća otstupanja u donjem delu (I) krive proticaja, jer je to područje najosetljivije na promenu položaja dna, pada i rapavosti korita, koji se mogu pojaviti već po prolasku prve velike vode kroz merni profil. Isto tako opet postaju vidna otstupanja hidrometriskih merenja u području III, t. j. u domenu velikih i najvećih voda, jer se oticanje odvija u obliku izrazitijih vodnih valova, pri kojima prevlađuje neravnomerno stanje kretanja vode. Širina gornjeg rasipnog područja je kod reka sa većim padom mala, dok kod nizijskih reka, koje teku kroz inundacione otseke, postaje značajna.

Iz toga sledi, da bezdimenzionalni broj F_g treba utvrditi na osnovu hidrometriskih merenja, koja padaju u najstabilnije područje II takvog YQ-dijagrama, t. j. u domen srednjih voda i manjih velikih voda.

Nova metoda ekstrapolacije određena je smisaonom upotrebom jednačina (7) do (11). Pomoću nje možemo izračunati propusnu sposobnost mernog profila korita u predelu II i III krive proticaja, i to za slučaj ravnomernog oticanja kroz taj profil, što uglavnom zadovoljava praktične potrebe.

Ekonomski je značaj nove metode prema tome, da za određivanje krive proticaja veštačkih ili prirodnih vodotoka ograničava potrebna hidrometriska merenja samo na merenje proticaja niskih voda. Od dubine 1,5 m pa nadalje može se pomoću bezdimenzionalnog broja F_g izračunati njihova propusna moć za srednje i velike vode, upotrebljavajući novu ekstrapolacionu metodu, bez većeg truda i troška, i to tačnije nego samim merenjem tih proticaja u prirodi.

3. Dokazi ispravnosti nove metode ekstrapolacije

U ovom poglavlju je objavljen veći deo obrađenih merenja, izvršenih od strane autora, koje treba da služe kao dokaz ispravnosti jednačine (2)

$$F_g = f(Y) = \text{const.},$$

koja pretstavlja temelj nove metode.

Ukupno se objavljuju rezultati analize 8 većih merenja, koja su izvršena ili na modelima, ili u prirodi. Njihovi glavni parametri su se kretali u ovim granicama:

proticaji . . od 0,01 m^3/s do 4,941 m^3/s,
dubine . . . od 0,015 m do 6,84 m,
padovi . . . od 0,24‰ do 762‰.

A) Veštački kanali i tuneli

Ispravnost jednačine $F_g = f(Y) = \text{const.}$ najpre je analizirana na primeru kanala trapeznog preseka s padom dna 1‰, ispitanog na modelu, potom na primeru trapeznog kanala u prirodi s padom 0,24‰ i na primeru dovodnog tunela pada 0,75‰.

1. Preračun merenja izvršenih u Vodogradbenoj laboratoriji u Ljubljani na modelu 1 : 20 trapeznog kanala s peščanim dnom širokim 6 m, nagibom betonskih kosina 1 : 1,5 i padom dna 1‰ prikazan je u tabeli 1, gde su svi podaci merenja preračunati po Froudovu zakonu sličnosti na dimenzije u prirodi.

Tabela 1.

Izmereni podaci			Računski podaci				
Q m^3/sec	V m/sec	Y m	(1) V_k m/sec	(2) R m	(3) F_g m^0	(4) k_M $m^{1/3} \cdot sec^{-1}$	(5) n $m^{-1/3} \cdot sec$
1	2	3	4	5	6	7	8
10,86	1,210	1,160	2,841	0,882	2,349	41,595	0,0239
18,41	1,431	1,546	3,285	1,111	2,295	42,200	0,0238
27,90	1,597	1,956	3,693	1,339	2,313	41,566	0,0244
39,40	1,764	2,346	4,047	1,545	2,294	41,758	0,0243
52,84	1,901	2,746	4,378	1,748	2,302	41,447	0,0246
70,15	2,048	3,180	4,711	1,961	2,300	41,345	0,0247

1) . . . . $$V_k = \left(\frac{2}{3}\, g \left(Y + \frac{V^2}{2g}\right)\right)^{1/2};$$

2) . . . . $$R = \frac{F}{O};$$

3) . . . . $$F_g = \frac{V_k}{V};$$

4) . . . . $$k_M = \frac{V}{R^{2/3}\; I^{1/2}};$$

5) . . . . $$n = \frac{1}{k_M}$$

Y = maksimalna dubina; I = 1‰.

Kako se vidi iz kolone 6, pri variranju dubine od 1,6 m do 3,18 m ostaje (F_g) praktično nepromenjeno; razlika među ekstremnim vrednostima iznosi jedva 2,5%, što verovatno ide na račun kvalitete merenja. Koeficient k_M Maningove jednačine takođe je ostao u gore navedenom području praktično konstantan.

Grafički prikaz zavisnosti (F_g) od dubine vode (Y) u kanalu dat je na slici 4, što jasno potvrđuje ispravnost jednačine (2).

2. Preračun merenja izvršenih na kanalu Villoresi, jednom od glavnih kanala za navodnjavanje Lombardijske nizine, izvedenog sa betonskim dnom širine 10,5 m, nagibom betonskih kosina 1 : 1,25 i padom dna 0,24‰, prikazan je na tabeli 2. Podaci o vrlo precizno izvršenim merenjima preuzeti su iz tabele 2 Gentilinijeve publikacije [2].

Tabela 2

Iżmereni podaci				Računski podaci				Kvalitet merenja
Q	V	Y*	I	V_k	R	F_g	n	
m³/sec	m/sec	m	⁰/₀₀	m/sec	m	m⁰	$m^{-1/3}$. sec	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
9,47	0,785	1,024	0,2385	2,627	0,878	3,346	0,018	dobar
13,98	0,915	1,264	0,2450	2,924	1,054	3,196	0,0177	dobar
19,33	1,041	1,500	0,2450	3,189	1,219	3,063	0,0171	dobar
27,79	1,182	1,836	0,2400	3,532	1,440	2,988	0,0167	dobar
35,68	1,271	2,132	0,2410	3,805	1,625	2,994	0,0169	dobar
46,93	1,396	2,472	0,2455	4,101	1,829	2,938	0,0168	dobar
54,89	1,451	2,864	0,2490	4,108	1,972	3,038	0,0171	dobar
59,07	1,460	2,872	0,2515	4,415	2,057	3,024	0,0176	slabiji
66,13	1,537	3,016	0,2470	4,529	2,137	2,947	0,0169	slabiji
70,73	1,549	3,160	0,2497	4,633	2,218	2,991	0,0173	dobar
73,90	1,555	3,260	0,2535	4,703	2,272	3,024	0,0177	dobar
77,91	1,581	3,356	0,2525	4,773	2,324	3,019	0,0176	dobar

* Y pretstavlja maksimalnu dubinu u profilu.

Kako se vidi iz grafičkog prikaza funkcije $F_g = f(Y)$ na slici 4 i podataka kolona 3 i 7 gornje tabele, treba razlikovati dva područja.

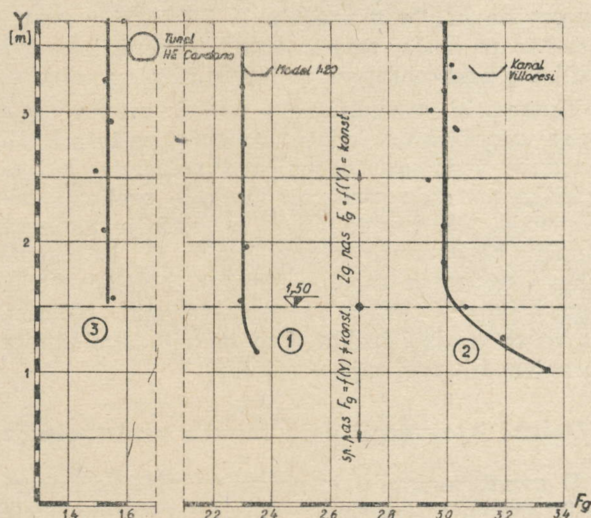
U donjem području vrednost (F_g) pada u domenu između dubina 1,024 m i 1,5 m od 3,346 na 3,063 t. j. za 8,3%, dok u gornjem području između dubina 1,836 i 3,356 m vrednost (F_g) ostaje praktično konstantna, jer razlika među najvećim ekstremima iznosi jedva 3,5%. Takođe i Ganguilletov koeficijent (n) ostaje u gornjem području praktično konstantan.

Smanjenje vrednosti (F_g) u donjem području tumačimo time, što se prvobitni otpor zbog rapavosti, najveći pri niskim vodostajima, stalno smanjuje pri višim vodostajima, dok pri dubini od 1,5 m ne dostigne neku smanjenu, konstantnu vrednost.

3. Preračun merenja, izvršenih na betonskom dovodnom tunelu hidrocentrale Cardano na reci Isarco, oblika potkovice, pada dna 0,75⁰/₀₀, prikazan je na tabeli 3. Podaci o merenjima propusne moći toga tunela pri proticajima sa slobodnim ogledalom preuzeti su iz tabele 1 Quarisajeve publikacije [3]. Širina tunela iznosi 6,20 m, visina 6,0 m i dubina kinete 0,3 m.

Vrednosti (F_g) na slici 4 su prikazane u zavisnosti od dubine vode (Y) na osnovu podataka kolona 3 i 7 tabele 3.

U domenu pomeranja nivoa vode između 1,56 i 4,31 m ostaje $F_g = f(Y)$ praktično konstantno;



Sl. 4 — Grafički prikaz $F_g = f(Y)$ za slučaj modelskog ispitivanja trapeznog kanala u laboratoriji (1), kanala Villoresi (2) i dovodnog tunela Cardano (3).

Tabela 3

Izmereni podaci				Računski podaci				Kvalitet merenja
Q	V	Y	I	V_k	R	F_g	n	
m³/sec	m/sec	m	⁰/₀₀	m/sec	m	m⁰	$m^{-1/3}$. sec	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
17,90	2,21	1,56	0,75	3,440	1,03	1,557	0,0126	
29,62	2,62	2,08	0,75	3,986	1,27	1,521	0,0122	
41,70	2,96	2,54	0,75	4,418	1,43	1,493	0,0118	
49,50	3,05	2,92	0,75	4,711	1,53	1,545	0,0119	slab?
60,00	3,26	3,24	0,75	4,973	1,62	1,525	0,0116	
70,00	3,31	3,70	0,75	5,277	1,72	1,594	0,0119	
88,40	3,58	4,31	0,75	5,697	1,81	1,591	0,0114	

Y pretstavlja maksimalnu dubinu vode u profilu

razlika ekstremnih vrednosti iznosi 6,3%, odnosno, ako se od sedam merenja odbaci jedno, verovatno slabo, samo 4,5%.

Pošto je dubina najniže vode veća od 1,5 m, postoji samo gornje područje, gdje je $F_g = f(Y) = const.$

B. Prirodni rečni tokovi

Isti uslov konstantnosti novog oblika Froudovog broja $F_g = f(Y) = const.$ bio je detaljno ispitan i na primeru reke Save u Jakobu kod Ljubljane, kao i na primeru reke Dunava u Lincu odnosno Nussdorfu.

4. Preračun merenja propusne sposobnosti reke Save na profilu vodomerne stanice Jakob kod Ljubljane

oslanja se na vrlo precizna ispitivanja, koja je izvršio Vodogradbeni laboratorij u Ljubljani u zajednici s Upravom za hidrometeorološku službu Slovenije god. 1953, u cilju isprobavanja nove električne sonde za kontinualno merenje pronošenja nanosa u rečnim profilima [4].

Na 220 m dugom mernom otseku menja se širina profila od 42 do 48 m, pad vodenog ogledala raste s proticajem od 0,9‰ do 1,95‰ pri promeni dubine vode od 0,83 m na 4,11 m; dno je od nanosa sa $d_{sred} = 30{,}6$ mm, odnosno $d_{90} = 81$ mm, dok su obale osigurane betonskom oblogom.

Rezultati preračunavanja tih podataka dani su u tabeli 4.

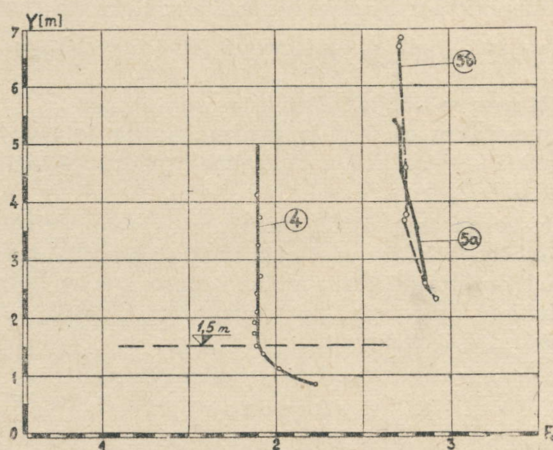
Tabela 4

Izmereni podaci				Računski podaci			
Q	V	Y*	I	V_k	R	F_g	n
m³/s	m/s	m	‰	m/s	m	m⁰	$m^{-1/3} \cdot s$
1	2	3	4	5	6	7	8
40	1,079	0,830	0,91	2,411	0,8014	2,234	0,0242
70	1,390	1,110	0,93	2,811	1,0628	2,022	0,0229
100	1,630	1,351	0,95	3,154	1,2615	1,935	0,0221
120	1,739	1,510	1,05	3,299	1,3942	1,897	0,0233
147	1,867	1,710	1,23	3,514	1,5414	1,882	0,0247
175	1,973	1,910	1,35	3,709	1,7051	1,830	0,0266
200	2,047	2,087	1,38	3,879	1,8416	1,895	0,0273
252	2,240	2,410	1,45	4,169	2,1161	1,892	0,0267
300	2,306	2,710	1,52	4,415	2,3494	1,915	0,0299
400	2,530	3,230	1,65	4,822	2,7585	1,906	0,0316
500	2,699	3,719	1,79	5,172	3,1065	1,916	0,0334
600	2,875	4,116	1,93	5,447	3,2271	1,895	0,0334

* pretstavlja maksimalnu dubinu izravnatog rečnog dna.

Na slici 5 je prikazana funkcija $F_g = f(Y)$ na osnovu podataka kolona 3 i 7, koji ponovo potvrđuju činjenicu postojanja dvaju posebnih područja. U donjem području između dubina 0,83 m i 1,51 m vrednost (F_g) pada od 2,234 na 1,897 t. j. za 15,2%, dok u gornjem području između dubina 1,51 i 4,116 m vrednost (F_g) ostaje praktično konstantna. Razlika ekstremnih vrednosti tu iznosi nekih 1,9%.

I u ovom slučaju dubina od 1,5 m pretstavlja izrazitu granicu između dvaju područja. Nasuprot tome, vrednost (n) se u oba područja naglo menja, i to je znak, da primena Maningove formule za proračun propusne moći rečnih profila nije preporučljiva.



Sl. 5 — Grafički prikaz $F_g = f(Y)$ za reku Savu u Jakobu kod Ljubljane (4), Dunava kod Linza (5a) i Dunava kod Nussdorfa (5b).

5. Preračun merenja propusne moći Dunava kod Linza i Nussdorfa

izvršen je na osnovu opažanja bečke hidrometeorološke uprave na toj reci, objavljenih u »Hidraulici« Kozenyja [5]. Računski podaci su prikazani na tabeli 5 i slici 5 i omogućuju ove zaključke:

Tabela 5

Izmereni podaci			Računski podaci		
Q	V	Y*	I	Vk	F_g
m³/sec	m/sec	m	‰	m/sec	m⁰
a . . . . Dunav kod Linza					
716,6	1,442	2,52	0,359	4,144	2,874
1 244	1,748	3,53	0,347	4,910	2,809
1 913	2,037	4,52	0,360	5,562	2,730
2 444	2,203	5,26	0,360	6,001	2,724
2 589	2,261	5,41	0,350	6,090	2,693
b . . . . Dunav kod Nussdorfa					
821,6	1,358	2,31	0,411	3,965	2,920
994	1,465	2,59	0,425	4,201	2,868
1 787	1,821	3,66	0,413	5,004	2,748
1 876	1,846	3,78	0,427	5,085	2,755
2 614	2,065	4,59	0,411	5,607	2,715
4 744	2,481	6,67	0,430	6,758	2,724
4 941	2,507	6,84	0,430	6,843	2,730

* Usled nedostatka podataka Y je utvrđeno iz $Y_{sr} = \frac{F}{B}$

Već na prvi pogled može se utvrditi i za taj proizvoljno izabran primer, za koji nemamo podataka o kvaliteti merenja, da i za prirodne vodotoke u domenu vrlo velikih voda ostaje u važnosti zakon konstantnosti $F_g = f(Y) = const.$

U oba slučaja može se primetiti smanjenje vrednosti (F_g) pri porastu vodostaja; ipak, razlika ekstremnih vrednosti iznosi za Linz 6,3‰, a za Nussdorf 6,5‰.

To malo otstupanje ide većim delom na račun prisilnog uvlačenja $Y = Y_{sred} = \frac{F}{B'}$ (B' = razlivena širina vodotoka), što je u suprotnosti s upustvima datim u slici 3, prema kojima je trebalo računati sa vrednošću Y_{max}, za koju nije bilo podataka.

Iz svega toga sledi, da bi se za celo područje velikih voda kriva proticaja mogla odrediti tačnim određivanjem (F_g) iz podataka samo jednog hidrometriskog merenja, izvršenog pri dubini vode između 2 i 3 m.

C. Brzotoci

Ispitivanja, da li postoji uslov konstantnosti $F_g = f(Y)$ kod brzotoka, dala su daljne povoljne rezultate, iako su uslovi oticanja tu mnogo komplikovaniji zbog mešanja vode i vazduha. Dalje su analizirani neki primeri brzotoka, proučeni ili u laboratoriji ili u prirodi.

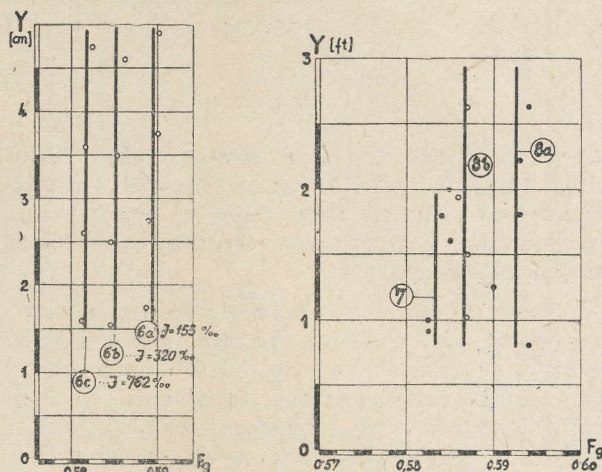
6. **Preračun merenja propusne moći brzotoka, izvršen na osnovi rezultata modela izrađenog u vidu strmog drvenog glatkog žljeba** širine 25 cm i s padovima 155‰, 320‰ i 762‰, objavljenih od Ehrenbergera [6]. Rezultate preračuna prikazuje tabela 6 i slika 6 — levo.

Tabela 6

Izmereni podaci			Računski podaci	
q	v_m**	y_m*	v_k	F_g
l/sec	dcm/sec	dcm	dcm/sec	m⁰
1	2	3	4	5
a ..... I = 155‰				
10	29,3	0,175	17,25	0,5887
20	36,4	0,275	21,44	0,5890
31	40,5	0,375	23,90	0,5910
44,5	44,3	0,490	26,20	0,5914
b ..... I = 320‰				
10	35,0	0,155	20,46	0,5845
20	44,1	0,250	25,78	0,5845
31	49,7	0,350	29,09	0,5853
44,5	53,5	0,460	31,37	0,5863
c ..... I = 762‰				
10	48,1	0,160	27,96	0,5812
20	59,3	0,260	34,48	0,5814
31	66,6	0,360	38,74	0,5816
44,5	72,0	0,475	41,94	0,5825

** v_m = stvarna brzina mešavine
* y_m = y_{max} mešavine

Za sva tri tretirana slučaja je uslov $F_g = f(Y) = const.$ do kraja ispunjen i razlike među ekstremnim vrednostima iznose manje od 1%.



Sl. 6 — Levo: $F_g = f(Y)$ za slučaj ispitivanja modela brzotoka.
Desno: Isto, samo za brzotok »Hat Creek« (7), za brzotok Kittitas prof. 12—14 (8a), odnosno Kittitas prof. 3—4 (8b).

7. **Preračun merenja propusne moći brzotoka Hat Creek** izvršen je na osnovu rezultata, objavljenih od Halla [7]. Brzotok pretstavlja betonski kanal pravougaonog preseka, širine 5,75 ft, na kome su stvarne brzine proticaja bile merene putem bojenja. Rezultate tih preračunavanja prikazuje tabela 7 i slika 6 — desno — kriva 7.

Tabela 7

Izmereni podaci			Računski podaci		
Q	V_m*	Y_m**	I	V_k	F_g
cub ft/s	ft/s	ft	m⁰	ft/s	m⁰
1	2	3	4	5	6
115	56,4	0,92	0,463	32,86	0,5826
163	59,2	1,00	0,463	34,50	0,5827
368	69,7	1,60	0,463	40,79	0,5852
395	71,7	1,80	0,463	41,87	0,5839

* V_m ..... brzina mešavine vode i vazduha
** Y_m ..... maksimalna dubina mešavine vode i vazduha

I u ovom slučaju je ispunjen uslov $F_g = f(Y) = const.$; razlike među ekstremima iznose manje od 1%.

8. **Preračun merenja izvršenih na brzotoku Kittitas** izveden je na osnovu Hallovih podataka, objavljenih u istoj publikaciji [7]. Brzotok opet pretstavlja betonski kanal pravougaonog preseka, širine 8 ft, a stvarne brzine su merili pomoću elektronske aparature. Rezultati preračunavanja su prikazani u tabeli (8) odnosno na slici 6 — desno — 8a.

Tabela 8

Izmereni podaci			Računski podaci		
Q	V_m	Y_m*	I	V_k	F_g
cub ft/s	ft/s	ft		ft/s	
1	2	3	4	5	6
a ..... Profil brzotoka 3 — 5					
193	29,8	0,81	0,177	17,70	0,594
362	42,4	1,25	0,177	25,02	0,590
587	45,6	1,80	0,177	27,05	0,593
777	51,0	2,22	0,177	30,24	0,593
1005	54,4	2,65	0,177	32,30	0,594
193	44,0	1,02	0,547	25,83	0,587
362	57,2	1,50	0,547	33,51	0,586
491	62,1	1,94	0,547	36,43	0,587
922	70,5	2,63	0,547	41,39	0,587

* $Y_m = Y_{max}$ mešavina vode i vazduha

Kao što se očekivalo, i u tom je slučaju uslov $F_g = f(Y) =$ const. bio ispunjen do kraja.

Iz svih gore obrađenih primera sledi, da bi se i kod brzotoka, u profilima u kojima je postignuto ravnomerno — stacionarno — kretanje, mogla odrediti propusna moć pri proticanju mešavine vode i vazduha određivanjem vrednosti (F_g) iz podataka samo jednog hidrometriskog merenja.

Bibliografija

[1] Publikacija 1 Vodogradbenega laboratorija pri tehniški fakulteti univerze v Ljubljani, leto 1955. Goljevšček: O novom obliku Froudovog broja i njegovoj upotrebljivosti pri proučavanju hidrodinamičkih pojava u veštačkim i prirodnim koritima.

[2] Gentilini: Determinazione dei coefficienti di scabrezza per un tronco del canale Villoresi. L'Energia Elettrica 1938.

[3] G. Quarisa: Note sul calcolo dei grandi canali a pareti liscie. L'Energia Elettrica 1950.

[4] C. Colarič: Meritev prodonosnosti in kalnosti na Savi 1953. (Interno poročilo laboratorija v Ljubljani).

[5] J. Kozeny: Hydraulik, Wien 1953.

[6] Ehrenberger: Eine neue Geschwindigkeitsformel für künstliche Gerinne. Die Wasserwirtschaft 1930.

[7] St. Hall: Open channel flow at high velocities. Proceedings of the ASCE, vol. 68, 1942.

O HIDROLABORATORIJSKIM ISPITIVANJIMA U N. R. HRVATSKOJ

Ing. A. Stepinac, Elektroprojekt — Zagreb

Moderna tehnička dostignuća na svim područjima tehničke djelatnosti postala su u poslijeratnom životu Jugoslavije mnogo pristupačnija nego ranije. Konačno, i razvoj stručnog tehničkog osoblja dobio je znatno šire perspektive. Ovo se odrazilo u punoj mjeri u građevinarstvu, a s time u vezi — naravno — i u hidrotehnici, koja mora često rješavati veoma složene probleme, kako po tehničkoj koncepciji, tako i u funkcionalno-ekonomskom smislu. Kod ovakvih problema sâmo projektiranje ne daje uvijek garanciju, da će se polučiti navedena svrha.

Da se izbjegne ovakovim nesigurnostima, hidrotehnika se — kako je poznato — počela unatrag pedesetak godina intenzivnije služiti time, da teoretske postavke i tehnička rješenja objekata, pravilna djelovanja i ekonomičnosti objekata, provjerava ispitivanjem na smanjenim modelima u odgovarajućim hidrotehničkim laboratorijima. To se naročito odnosi na one objekte ili dijelove objekata, koji sačinjavaju glavne elemente vodograđevine, osobito u funkcionalnom pogledu. Rezultati takovih ispitivanja, provjeravanja, oblikovanja i t. d. služe za konačna prilagođavanja projekata i izvedbe građevina u prirodi.

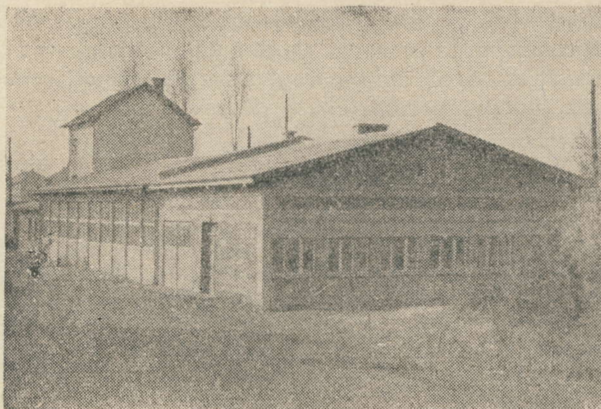
Poznato je, da Jugoslavija ima dva veća laboratorija sa već dobrom tradicijom, i to »Vodogradbeni laboratorij u Ljubljani« i »Hidrotehnički institut na Avali« u Beogradu. U N. R. Hrvatskoj se neposredno poslije rata također osjetila potreba za sličnim laboratorijem, pa je on i osnovan u vrlo malenom obliku god. 1947, ali je već god. 1949 morao biti dokinut.

Osnivanjem projektantskih organizacija današnjeg oblika, a pod pojačanim tempom izgradnje hidroenergetskih i drugih vodograđevina, došlo je ponovno do potrebe da se osnuje hidrotehnički laboratorij, što je i ostvareno skromnim sredstvima u okviru projektantskog poduzeća »Elektroprojekt«.

Takav tip hidrotehničkog laboratorija — u sklopu projektantske organizacije — kod nas je, a i u svijetu uopće, u svakom pogledu nešto posebno.

Namijenjen prvenstveno projektantskim potrebama »Elektroprojekta«, ovaj hidrolaboratorij ispituje objekte redovito u stadiju projektiranja, tako da mu je rad koordiniran s projektantskim zadacima poduzeća. Višak raspoloživog prostora i vremena namijenjen je vanjskim uslugama. Stručni kadar formiran je izravno iz redova projektanata. Glavni inženjeri, čiji se objekti ispituju, stalno su u vezi s laboratorijskim radom, tako da je koordinacija zaista kontinuirana.

Radeći na zajedničkom privrednom računu cjelokupnog poduzeća, laboratorij danas ne može imati pretenzije da izraste u tip ljubljanskog ili beogradskog instituta. Samo potrebe sveukupnog



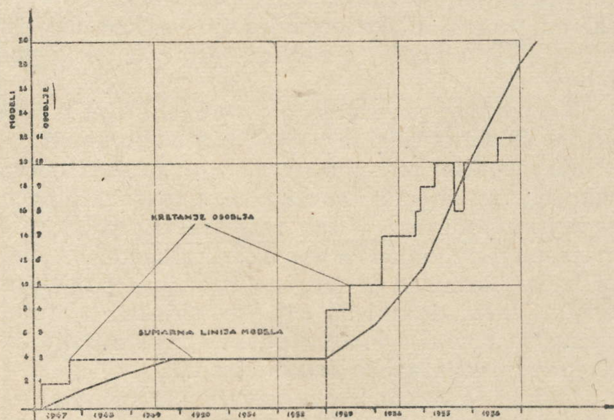
Sl. 1 — Opći pogled na hidrotehnički laboratorij »Elektroprojekta« u Zagrebu

vodograđevinarstva mogu u budućnosti eventualno usloviti u Hrvatskoj izgradnju većeg hidrotehničkog laboratorija. Ukazuje se često nestašica prostora, nedostatak pogonskih kapaciteta i stručnog osoblja, ali to su zbivanja, koja se događaju u vremenu kad je cjelokupno poduzeće opterećeno brojnim zadacima. Prema tome, potrebe samo jednog poduzeća ne mogu diktirati znatno proširenje ovog laboratorija, a konačno za to nema ni sredstava.

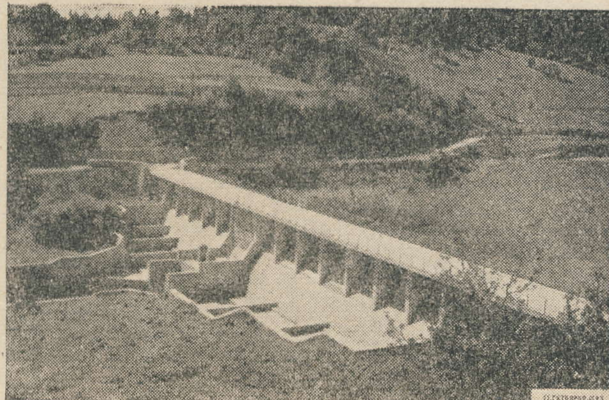
Namisao osnivača bila je, da laboratorij treba da zadovolji potrebe hidroenergetskih objekata, pa su mu na temelju toga i dane osnovne dimenzije, po kojima je on uz izvjesno proširenje u tri godine rada u 90% potreba na ispitivanjima potpuno zadovoljio.

Rezultati dosadašnjih ispitivanja, provedenih s osobljem, koje još nema pravog praktičnog laboratorijskog iskustva, zatim zadaci, koji su postepeno sve obilniji i složeniji, opravdavaju u punoj mjeri postojanje makar i tako malenog hidrotehničkog laboratorija. Uz glavnu svrhu ispitivanja, da se utvrdi funkcionalni optimum, polučene su na mnogim objektima kod izvođenja u naravi i veoma znatne financijske uštede.

Laboratorij je u konstantnom razvoju, kako u stručnom pogledu tako i u opremi. Oprema, gle-



Sl. 2 — Diagram kretanja osoblja i sumarnog opterećenja laboratorija modelima



Sl. 3

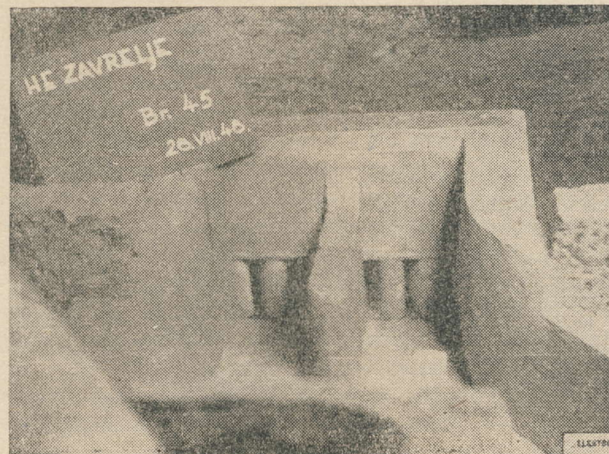
dana povremeno sa strane, popunjava se relativno dobro, ali taj problem, gledan danomice iz samog laboratorija očima laboratorijskih stručnjaka, toliko je velik, da ga poduzeće sa svojim raspoloživim sredstvima ne može rješavati ni paralelno s potrebama tekućih zadataka. Nema sumnje, da neka poduzeća iz područja elektroprivrede, kao što su Zajednica elektroprivrednih poduzeća, Elektrana Zagreb, Dalmatinske hidroelektrane Split, Elektrana Rijeka i Hidroelektra Zagreb, imaju znatnog razumijevanja za ovaj pogon, ali za popunu instrumentarijem potrebne su veće novčane subvencije.

U toku svog postojanja u prvoj i drugoj fazi laboratorij je imao na ispitivanju 30 modela, od čega 24 iz područja elektroprivrede za potrebe projektiranja i izvođenja hidroenergetskih objekata, a 6 modela odnosi se na vanjske zahtjeve.

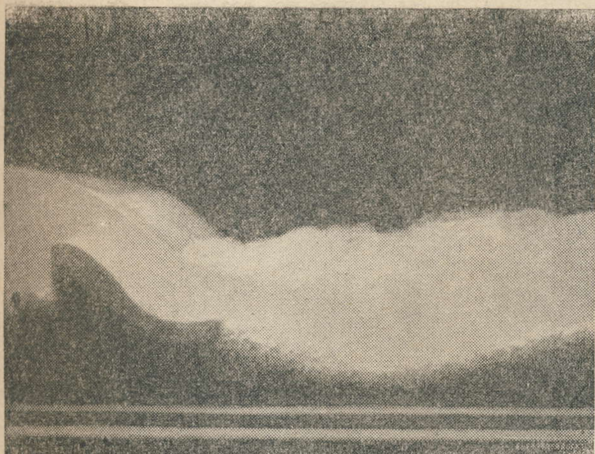
Primjeri i svrha ispitivanja nekih objekata

a) Prvo hidrolaboratorijsko ispitivanje u Zagrebu odnosilo se na slapište brane Bajer na rijeci Ličanki u Fužinama, u sistemu hidroelektrane »Nikola Tesla«. (Sl. 3). Modelski istraženo slapište izvedeno je kasnije u naravi.

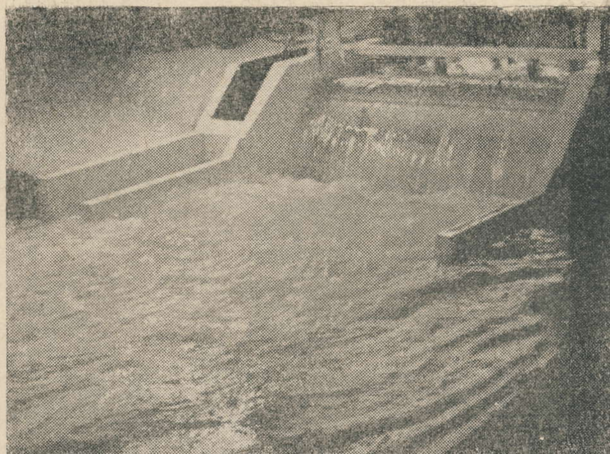
Ovim ispitivanjem polučeno je i znatno sniženje troškova izvedbe u odnosu na prvobitni



Sl. 4



Sl. 5



Sl. 7

projekt. Slapište je riješeno kasetama, pa je postignuto vrlo dobro poništenje energije prelivnih voda, kao i voda iz temeljnog ispusta.

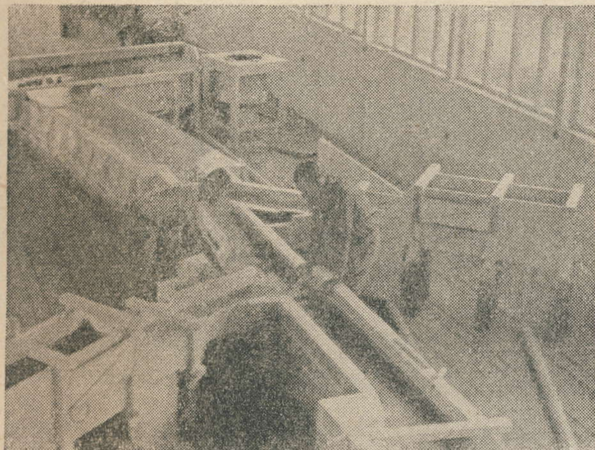
b) Ispitivanje izlazne građevine hidroelektrane Zavrelje u more. Problem se sastojao u tome, da se priguši djelovanje morskih valova uzrokovanih južnim vjetrom na izlaznu vodu iz elektrane. Težilo se zatim, da se dobije građevina, koja će nesmetano propuštati vode od turbina, a spriječavati djelovanje valova, što se i polučilo u veoma znatnoj mjeri. (Sl. 4).

c) Za hidroelektranu »Slapovi« na Uni ispitivan je usporni prag u koritu, i to duljina slapišta i njegovo djelovanje, te konsumpciona krivulja preko praga. (Sl. 5)

d) Čvorište Ličanke u području hidroelektrane Fužine. Zadatak modelskog ispitivanja sastojao se u tome, da se tehnički i hidraulički uskladi pravilnost toka Ličanke, njenog desnog reguliranog pritoka Kostanjevice, izlaznog kanala hidroelektrane Fužine, dolaznih voda kroz tunel Lokvarka—Ličanka i djelovanja crpke za prebacivanje voda iz Ličanke u lokvarski basen. Model, izrađen prema projektu ovog čvorišta, pokazivao je izvjesno ejektorsko djelovanje reguliranih organa, naročito kod niskih vodostaja u jezeru Bajer, dakle, kad vode jezera Bajer ne usporuju tok Ličanke na kritičnom mjestu. To se naročito loše odrazilo na rad crpke za prebacivanje vode iz Ličanke u jezero Lokvarke. Modelskim ispitivanjem su te mane potpuno uklonjene, a oblikovanjem prelaznih građevina iz profila u profil, zatim stepenice sa slapištem u Kostanjevici, polučeni su povoljni i hidraulički dokumentirani uslovi pravilnosti toka u ovom čvorištu. (Sl. 6).

e) Ispitivanje brane Sabljaki na Zagorskoj Mrežnici za hidroelektranu Gojak. Kod ovog modela provjeravana je konsumpciona krivulja na brani, slapište brane, temeljni ispust sa poništavanjem energije vode, posebno s temeljnim ispustom i zajedno s prelijevanjem preko brane, zatim pronos nanosa i strujanje vode kod ulaznog uređaja. U odnosu na projekt došlo je na temelju modelskih pokusa do potpune promjene slapišta i temeljnog ispusta, te do djelomične promjene ulaznog uređaja. (Sl. 7).

f) Ispitivanje regulatornih stepenica potoka Sloboštine. Ovo ispitivanje izvršeno je povodom rušenja ranije izvedenih regulatornih naprava, a bilo je naročito potrebno s obzirom na bujični karakter potoka i nepogodan geološki sastav za umjetne građevine u koritu. Modelski su ispitane



Sl. 6



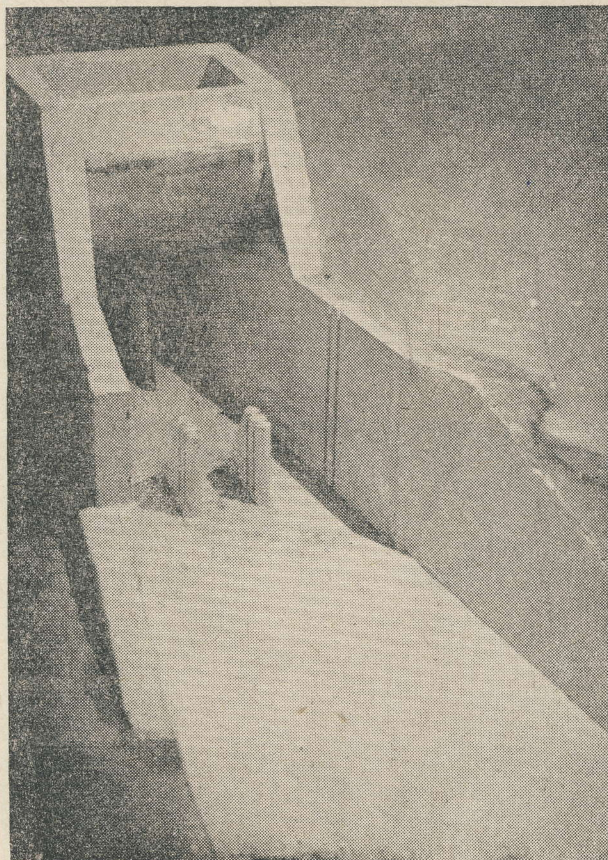
Sl. 8



Sl. 9



Sl. 11

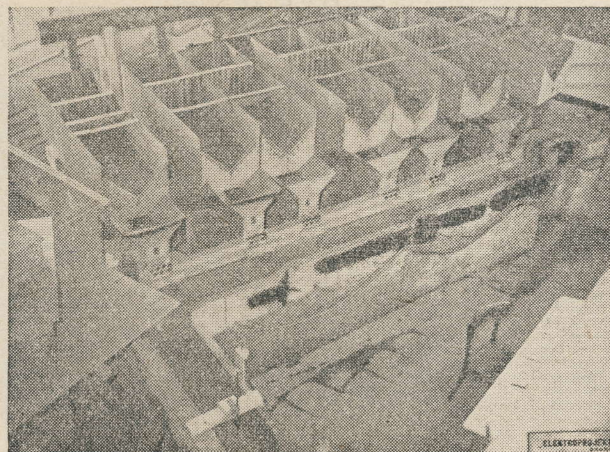


Sl. 10

stepenice sa slapištem za korekciju regulacije. (Sl. 8).

g) Za hidroelektranu Peruča na Cetini ispitivano je nekoliko građevina, a među ostalim temeljni ispust od svršetka tunela do korita Cetine, s osobitim obzirom na stup mosta, koji prolazi preko otvorenog dijela temeljnog ispusta. Osim toga je određivan tip građevine za poništenje energije prije ulaza vodnog mlaza u Cetinu. (Sl. 9).

Nadalje je ispitivan dovodni tunel, naročito ulazni uređaj. Utvrđivana je konsumpciona linija tunela, nekoliko slučajeva odstranjenja vira, upliv



Sl. 12

nosača rešetke na protok kao i elementi zagata. (Sl. 10).

h) Naročito obilna ispitivanja vršena su u vezi s pregradom Valići na Rječini za hidroelektranu Rijeka. (Sl. 11). Ta ispitivanja sadržavala su:

1. ispitivanje detalja usporne klapne s konsumpcijom preliva,
2. promjene oblika prelivne plohe na brani,
3. slapište brane s obzirom na prelivne vode i vode iz temeljnih ispusta, te pronošenje nanosa,
4. pronos nanosa iza pregrade,
5. ispitivanje tečenja u koritu izvan slapišta.

Naročito je bilo složeno ispitivanje slapišta, u kojemu je trebalo povezati funkcionalno tri elementa. Dobiveni oblik slapišta se bez modelskog ispitivanja uopće ne bi mogao predvidjeti.

i) Ispitivanje turbinskih odvoda i kanala donje vode hidroelektrane »Nikola Tesla«. Kod pogona jačeg od 72 MW dolazi u sadašnjem stanju do izvjesnog preplavljivanja servomotorskog prostora elektrane, što ukazuje na presnažno dizanje vode u odvodnom kanalu. Ovo je uzrokovano time, što vodni mlazovi, koji izlaze iz turbinskih otvora, udaraju suviše okomito na suprotni zid odvodnog kanala, čime dolazi do uspornog djelovanja u kanalu.

Ugradnjom deflektora u turbinske odvodne otvore dobilo je strujanje vode pravilniji smjer i bolji raspored brzina na cijelom profilu kanala, tako da je kod maksimalnog opterećenja elektrane od 76,2 MW polučeno sniženje vodostaja u odvodnom kanalu od 30—50 cm. (Sl. 12).

Iz navedenih primjera već je dovoljno jasno, da je potpuno opravdano postojanje hidrotehničkog laboratorija, a kakav će biti njegov daljnji razvoj, pokazat će buduće potrebe na polju laboratorijske djelatnosti i razumijevanje mjerodavnih za ovakova ispitivanja.

Milutin Jevremović, C. E., Elektroprojekt, Sarajevo

Dependancy of water accumulations on geological ground composition and choise of damming locations in the valley of the river Sana

Two accumulations in the valley of the river Sana are discussed in this article, one in the region from the source to Ključ and the other downstream from it. Limestones and the pertaining carstic phenomena are encountered to a greater extent in the downstream and to a lesser extent in the upstream accumulation. The author discusses the problem of accumulations in carstic regions and the position of the damming locations withs special regard to the geological structure of the ground and the position of the carstic sources, those being the main and basic conditions for the success and economic completion of an accumulation. Preference is given to damming locations on impermeable grounds, even if they are broader and reqire bigger dams, over locations in limestones, topographicaly favorable but full of carstic phenomena.

Ing. Jevremović Milutin, Elektroprojekt, Sarajevo

Les rétenues et leurs depéndance de la composition géologique et du choix de l' emplacement des barrages dans la vallée de la Sana

Le rapport s'occupe de deux retenues d' eau dans la vallée de la Sana. La première entre la source de Ključ et la deuxième à l' aval de celle-la. On rencontre dans ces bassins du calcaire karstifiée, quoique à plus grande échelle dans celui d'aval. L'auteur examine le problème des accumulation dans des terrains karstifiés et le choix de l'emplacement de barrages eu égard à la composition géologique du sol et au niveau de la nappe phréatique dans le karst, celui-ci étant d'une importance capitale pour la reussite et l'économie d'une accumulation. On donne la préférence aux emplacements qui se trouvent dans des couches impermeables même s'ils exigent un profil plus grand.

M. Goljevšček, Prof. D. Sc. C. E., Vodogradbeni laboratorij pri tehniški fakulteti univerze v Ljubljani

Determination of discharge of artificial and natural river-beds by the new extrapolation method its economic significance

In the article a new method for the determination of discharge capacities of artificial and natural river-beds is described. This method is based on the use of a dimensionless number F_g, which unables the establishing of the rating curve much easier then up till now, because hydrometric measurements, at a certain cross section, have to be done for small discharges only since, at water depth of 1.5 m and more, the discharge capacity of the river bed is already given by this number. At model investigations, carried out at a scale λ, this method is valuable for all depths greater then $\frac{1.5}{\lambda}$ m.

In the article the whole computation procedure is given in detail, and results of 8 more important field and laboratory measurements are published. They confirm the validity of this method within boundaries of discharge variations from 0.01 m^3/sec to 4941 m^3/sec and slopes from 0.24‰ to 762‰.

Prof. Dr. Ing. Goljevšček Milo, Vodogradbeni laboratorij pri tehniški fakulteti univerze v Ljubljani

Mésure de débits dans des canaux naturels et artificiels au moyen d'une méthode nouvelle d'extrapolation et sa signification économique

Dans ce rapport on présente une méthode nouvelle pour la détermination du débit, s' écoulant dans des canaux artificiels et naturels. La méthode est basée sur l' emploie du nombre sans dimension F_g qui facilite le tracé de la courbe de débits. Sélon cette méthode les mesures hydrométriques dans un profil du canal ne se font que pour des petits débits. La capacité du canal pour des profondeurs moyennes et grandes, depassant 1,5 m, est conue, grâce à ce nombre sans dimension. Au model réduit à l'échelle λ, cette méthode est valable pour toutes les profondeurs plus grandes de 1,5/λ m. Tout le procedé de calcul est décrit en détail dans ce rapport. On publie les resultats sur 8 mensuration exécutées sur model réduit et en nature, ce qui confirment l'utilité de la méthode pour les débits entre 0,01 et 4941 m^3/s et les chutes de 0,24 à 762‰.

Primjena savremenih građevinskih materijala i konstrukcija kod hidrograđevinskih objekata

HIDROMEHANIČKA OPREMA HIDROELEKTRANE GOJAK

Ing. **J. Mešiček** i Ing. **S. Milosavljević**, »Metalna« Maribor

1. Uvod

U našoj terminologiji udomaćio se je izraz hidromehanička oprema za opremu svih onih organa, koji služe u najširem smislu zatvaranju, propuštanju i regulaciji vodotoka za svrhe poljoprivrede, korištenja energije i plovidbe.

Prema zadatku, koji organi moraju ispuniti, možemo razlikovati uglavnom ove grupe:

1. Organi za usporavanje vode u cilju regulacije vodostaja i za odvod visokih voda, leda, naplavina, a u nekim slučajevima i vučenog nanosa na pregradama rijeka ili umjetnih jezera.
2. Ispusni organi za djelimično ili potpuno ispražnjenje akumulacionih basena.
3. Organi za zaustavljanje ili propuštanje vodotoka u sistemu dovoda do turbina, bilo neposredno, bilo putem otvorenih ili tlačnih rovova, vodne komore i tlačnog cijevnog voda.
4. Organi u odvodnim rovovima iza turbina.
5. Organi u raznim, za vrijeme izgradnje potrebnim rovovima (optočnim galerijama).
6. Organi za punjenje i pražnjenje brodskih komora.

2. Pregled opreme

U ovom pregledu ograničujemo se na one objekte iz područja čeličnih konstrukcija za vodogradnje, koji se izrađuju u tvornici »Metalna« u Mariboru, t. j. na sve zatvarače i pomoćne uređaje, osim predturbinskih i difuzorskih zatvarača, koje za ovu centralu izrađuje dobavljač turbina, t. j. tvornica »Litostroj«.

Tlačni cijevni vod koji se također izrađuje u »Metalnoj«, bit će predmet druge publikacije.

Hidroelektrana Gojak izgrađuje se po projektu poduzeća »Elektroprojekt« Zagreb, kao visokotlačna elektrana derivacionog tipa s akumulacionim basenom za tjedno izjednačenje, koja iskorištava vode Zagorske Mrežnice i Ogulinske Dobre na padu prema Gojačkoj Dobri.

Izgradnjom niskog zemljanog nasipa pretvorit će se dolina Zagorske Mrežnice u jezero nazvano »Sabljaki«, s ukupnom zapreminom od 4 050 000 m³ kod uspora do kote 320 m.

Brana na Dobri usporava vodu za nekih 5 m do iste kote 320 m, a ima manju ukupnu zapreminu: 240 000 m³.

Svako jezero ima svoju ulaznu građevinu, a oba tlačna dovodna rova spajaju se u zajednički dovodni tlačni rov, koji preko vodne komore i tlačnog cijevnog voda dovodi vodu u tri turbine.

Na pregradi jezera Sabljaki predviđaju se za odvod visokih voda prelivna zaklopka i temeljni ispust.

Prelivna zaklopka čiste širine 16 m i usporne visine 2,7 m predviđena je za maksimalnu pretočnu količinu Q = 150 m³/s.

Temeljni ispust smješten na lijevom boku brane pored zaklopke ima čisti otvor 3,1 m × 1,5 m, s maksimalnom protočnom količinom Q = 30 m³/s.

Ovaj organ služi za odvod vode za vrijeme gradnje brane Sabljaki, a za vrijeme pogona centrale njegov je zadatak da odvodnjava mulj i nanos ispred ulazne građevine »Mrežnica«.

Prelivna zaklopka je snabdjevena automatskom regulacijom za održavanje konstantnog vodostaja u jezeru.

Na pregradi jezera Bukovnik predviđa se samo jedan odvodni organ, i to tropojasni tablasti zatvarač s prelivnom zaklopkom čiste širine 24 m i usporne visine 5 m.

Maksimalna pretočna količina preko zaklopke iznosi 264 m³/s.

Ulazna građevina Mrežnica na jezeru Sabljaki i ulazna građevina Dobra na jezeru Bukovnik opremljene su načelno jednako, i to sa:

grubom i finom rešetkom,
strojem za čišćenje fine rešetke, i
pomoćnim i glavnim zatvaračem.

Osim toga, iza spoja obaju tlačnih rovova predviđen je još jedan zatvarač istih dimenzija kao zatvarači na ulaznim građevinama.

U vodnoj komori predviđen je tablasti sigurnosni zatvarač.

Iz vodne komore do predturbinskog zatvarača vodi tlačni cijevni vod, koji je većim dijelom izveden kao slobodno položen u tunelu.

Ovdje dajemo kratak opis glavnih objekata.

3. Kratak opis pojedinih objekata

A) Brana Sabljaki

Za branu Sabljaki, čiste širine 16,00 m i visine uspora 2,7 m, odabran je zaklopni zatvarač s jednostranim pogonom na lijevoj obali, krut protiv torzije.

U razmacima od 2,56 m ukrućuje se torziono izbočeno tijelo pomoću jakih privarenih poprečnih pregrada. Opterećenje na zaklopni zatvarač prenosi se preko tih poprečnih pregrada u ležaje, a momenat, koji nastaje, zahvaća se Gallovim lancem mehanizma za dizanje s jedne strane, a sidrom krajnjeg ležaja s druge strane.

Teoretska osovina okretanja zaklopke leži u donjem bridu obloge zaklopke. Stoga se može uzdužno brtvljenje izvesti pomoću trake od plosnate gume, koja je čvrsto pričvršćena s jedne strane na limu praga, s druge strane na oblozi zaklopke. Postrano brtvljenje između obloženog lima bočnih štitova na stupovima vrši se pomoću profilne gume kao klizno brtvljenje.

Gornji prelivni rub zaklopke izrađen je zupčano i s posebnim noževima za presijecanje mlaza. Ova konstrukcija ima svrhu da mlaz vode, koji se preliva, podijeli u više mlazova raznih daljina upadanja, i time sprečava nastajanje titranja zatvarača. Bočni štitovi predviđeni su tako, da se mogu električko grijati.

Kako se vidi iz skice, predviđen je pogonski mehanizam sličnoga tipa kao što je izveden kod brane Bukovnik, samo ovdje jednostrano. Kao organ za dizanje služi tri puta oslonjeni Gallov lanac. Kraj organa za dizanje, koji ne prelazi preko zupčanika, izveden je do priključka na zaklopku kao plosnata motka.

Električni pogon predviđen je za lokalno krmiljenje kao i za automatsko krmiljenje. Automatsko krmiljenje vrši se plovkom, za koju je u stupu izvršen vertikalni prorov.

Sile i momenti od pritiska vode na zaklopku za pojedine njene visinske položaje odnosno za razne pretočne količine, koje su služile za dimenzioniranje zaklopke i pogona za dizanje, određene su pomoću modelnih pokusa u hitrotehničkom laboratoriju u Ljubljani.

Na slici 1 prikazan je poprečni presjek s ucrtanom zaklopkom u najvišem i najnižem položaju.

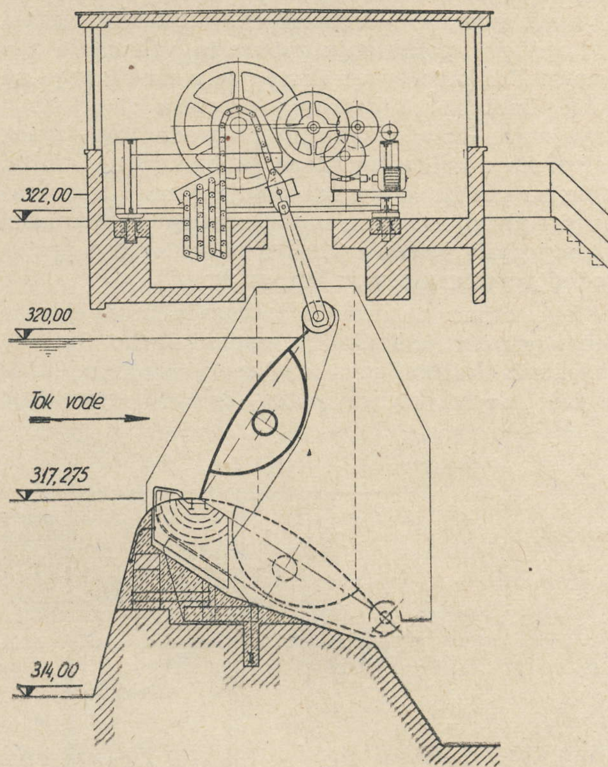
Temeljni ispust na lijevom boku brane opremljen je kao tablasti zatvarač za čisti otvor 3,1 m × 1,5 m, koji je dimenzioniran za najveći statički tlak vode kod praga od 6 m.

Zatvarač može biti podizan kod pune razlike tlaka, pa može služiti i za regulaciju protoka djelimičnim otvaranjem. On je izveden s točkovima, zbog smanjenja trenja i uslijed toga, smanjenja sile za dizanje. Pogon se vrši elektromehaničkim jednovretenskim vitlom u sredini. Kao rezervni pogon predviđen je i ručni mehanizam.

B) Brana Bukovnik

Otvor brane čiste širine 24,0 m i visine uspora 5,0 m zatvara se pomoću tropojasnog zatvarača sa zaklopkom. Visina zatvarača je 4,0 m, a pokretne zaklopke 1,0 m.

Presjek zatvarača ima osnovni oblik trokuta; sastavljen je od dva rešetkasta nosača koji imaju zajednički nizvodni pojas, te od vertikalnog obložnog lima uzvodno. Donje brtvljenje predviđeno je od drvene grede, sa hidraulično podesnim presjekom. Zaklopka, koja je pričvršćena na zatvaraču, konstruirana je tako čvrsto, da mogu biti glatko odvođene i ledene sante te razni drugi nanosi. Zaklopka je kruta protiv torzije; sile, koje potiču od vlastite težine i vodnog pritiska, prenosi trbušasto izbočeno tijelo u obe krajnje poprečne pregrade. Snažna poprečna rebra, koja su zavarivanjem dobro spojena s ostalom konstrukcijom zaklopke, pričvršćena su segmentnim ležajima na



Sl. 1 — Poprečni presjek brane sa zaklopkom

tijelo zatvarača. Taj način oslanjanja ima prednost, da teoretska osovina okretanja zaklopke dolazi u nastavak obloge zatvarača i obloge zaklopke, pa se zbog toga za uzdužno brtvljenje može upotrebiti jednostavno gumeno trakasto brtvilo. Ovaj način brtvljenja predstavlja idealno rješenje, isključuje svaku opasnost zaleđivanja i jedva se istrošuje.

Bočni zaključak zaklopke vrši se pomoću bočnih štitova, koji su čvrsto spojeni sa zaklopkom, a brtve prema bočnim štitovima tropojasnog zatvarača pomoću gumenih brtvila. Time se postizava posve tijesno ograničenje vodotoka prema nišama. Bočno brtvljenje zatvarača samoga vrši se profilnim gumama, koje kližu na letvama iz nerđajućeg materijala, smještenima na uzvodnom bridu niše.

Širina zaklopke je tako odabrana da prelivajući mlaz vode ni u kojem položaju zaklopke ne pada na nizvodni (vlačni) pojas zatvarača. Gornji rub zaklopke je kao kod brane Sabljaki zupčast i omogućuje pristup uzduhu do nizvodne strane konstrukcije, čime se sprečava treperenje zaklopke.

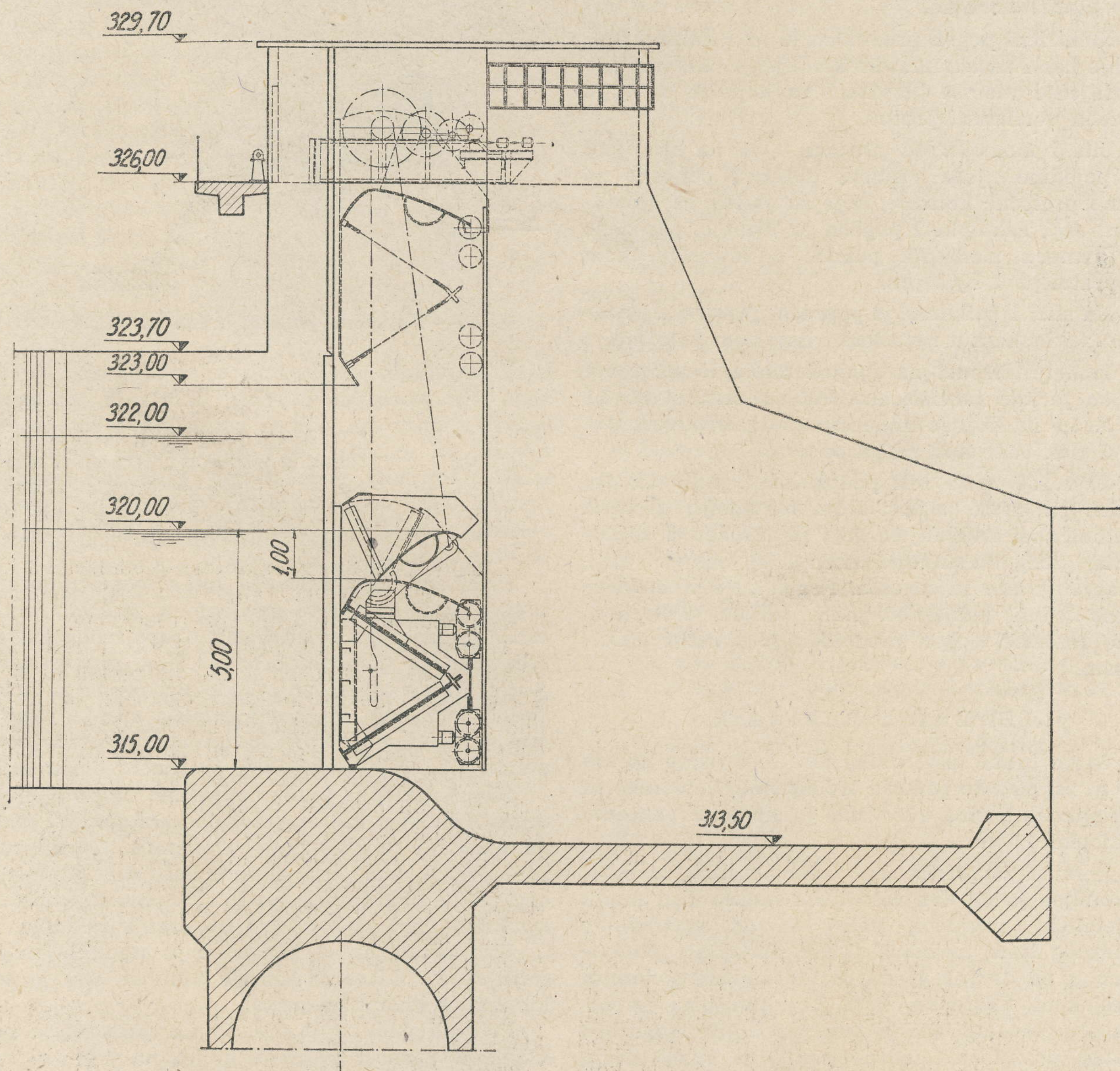
Kao materijal za konstrukciju upotrebljen je čelik st. 37. Zatvarač sam je zakivan, dok je zaklopka uglavnom zavarena.

Pritisak vode, koji djeluje na zatvarač sa zaklopkom, prenosi se preko kolica na tračnice položene u nišama stupova. Na svakoj strani zatva-

rača su dvoja kolica, zavarena od čeličnog lima, s ugrađenim kotačima od čeličnog liva. Visinski položaj kolica tako je raspoređen, da prema položaju zaklopke nijedan od kotača ne bude preopterećen. Kotači se okreću oko ugrađenih valjaka, raspoređenih oko osovine, koja je fiksno smještena u kućište kolica. Upotrebom valjkastih ležaja nastaju pri pokretanju zatvarača vrlo male sile trenja. Valjkasti ležaji okreću se u masti, koja ne može izaći iz unutrašnjeg prostora zbog finog brtvljenja. Između krajnjih pregrada tropojasnog zatvarača i kolica ugrađena su balansirna ležišta, čime se postizava da pri povijanjima i temperaturnim promjenama ne nastaju nedopušteni pomaci u raspodjeli pritiska. Za bočno vođenje i protuvođenje zatvarača ugrađeni su kotači.

Kao organ za dizanje zatvarača predviđen je 3-kratno oslonjeni Gallov zglobni lanac. Između pojedinih članaka lanca uvrštene su tanke mjedene pločice, da se osigura dobro zglobno djelovanje lanca. Lanac podupiru trostruko pogonski zupčanici. Izmjenjivanje svakog svornjaka (čepa) moguće je bez teškoća. Iznad pogonskog zupčanika vođen je lanac na čitavom području zahvatanja zubi pomoću jakog preklopnog kućišta.

Za zatvarač i zaklopku izveden je sa obje strane zajednički pogonski mehanizam. Jedan kraj lanca za dizanje, koji ide preko pogonskog zupčanika, pričvršćen je na zatvarač, a drugi pričvršćen na zaklopku. U položaju uspora »zaklopka uzdignuta« je onaj dio lanca, koji vodi k zatvaraču, a opterećen na zaklopku pričvršćeni dio lanca. Ako se pogonski mehanizam stavi u pokret u smislu dizanja zatvarača, zaklopka se najprije preloži, dok nalegne na ležaje, koji su pričvršćeni na zatvaraču. Pri daljem dizanju napne se onaj dio lanca, koji hvata na zatvaraču, a zatvarač se počinje dizati s priklopljenom zaklopkom. Obrnuto, pri spuštanju zatvarača ponajprije nalegne zatvarač na prag, a zatim se zaklopka



Sl. 2 — Poprečni presjek brane sa zatvaračem

uzdigne u položaj uspora. Taj način pogona pokazao se vrlo dobar pri mnogim objektima izvedenim u inozemstvu i kod nas, to više što je rukovanje vrlo jednostavno.

Pogonski mehanizmi s obje strane imaju tip uobičajen kod gradnje brana. Oni se sastoje od osovine zupčanika s preklopnim kućištem, dva predležaja sa čeonim ozubljenjem, s potrebnim osovinama i ležajima i jednim pužastim gonilom. Pred pužastim gonilom je smješten reduktor s jednim parom čeonih zupčanika s kosim ozubljenjem. Svi elementi su pregledno raspoređeni u čeličnom okviru, koji je dimenzioniran na opterećenje lanaca. Oba postrana mehanizma za dizanje međusobno su spojena mehanički pokretanom osovinom. Tim uređajem postizava se jednakomjeran hod obaju mehanizama.

U krajnjim položajima zaustavljaju se pogoni automatski pomoću graničnih sklopka. Osim toga predviđena je još jedna granična sklopka, koja zaustavlja pogon, kad pri pokretu iz položaja uspora zaklopka nalegne na ležišta na zatvaraču. Ako se u cilju odvoda visokih voda mora podići tropojasni zatvarač, treba pritisnuti na posebno dugme. Osim pomoću elektromotora zatvarač se može pokrenuti i posebno ugrađenim rezervnim ručnim pogonom.

Lanci i pogoni su tako dimenzionirani, da pri najvećim silama, koje nastaju uslijed vlastite težine, trenja i pritiska vode, u svima dijelovima postoji otprilike 4,5-struka sigurnost protiv loma. Pri određivanju prenosa usvojena je brzina zatvarača od cca. 0,3 m/min.

Kao kod zaklopke na brani Sabljaki predviđeno je grijanje bočnih štitova i kod ovog zatvarača.

Dimenzioniranje zatvarača izvršeno je na temelju rezultata modelnih pokusa u ljubljanskom laboratoriju.

Prije odluke o primjeni opisanog tipa zatvarača bila je studirana i mogućnost izvedbe valjkastog i segmentnog zatvarača. Svaki od pomenuta tri sistema ima svoje prednosti i nedostatke. Potanku analizu karakteristika ne možemo dati u ograničenom okviru ove publikacije. Moramo se zadovoljiti s konstatacijom, da je glavni razlog za izbor tropojasnog zatvarača bio najbolja mogućnost izrade u domaćoj tvornici, koja je stekla već izvjesno iskustvo u izradi sličnih zatvarača kod drugih centrala.

Na slici 2 prikazan je poprečni presjek kroz branu sa zatvaračem.

C) Ulazna građevina »Dobra« na jezeru Bukovnik

Kako je oprema ulaznih građevina ove centrale jednaka, dovoljno je opisati opremu jedne od njih.

Ulazno grlo nalazi se na lijevoj obali Dobre pred stupom brane Bukovnik. Ulazni uređaj dimenzioniran je za najveći potrošak elektrane od 50 m^3/sek., koji se može u stanovitim prilikama sav uzimati iz jezera Bukovnik.

Gruba rešetka ima tri otvora čistih dimenzija 5,5 m × 5 m. Vertikalno položene palice od čeličnih cijevi u međusobnom razmaku od 160 mm naslanjaju se osim na prag i na gornji čeoni nosač još i na srednji čelični hidraulički oblikovan nosač.

Fina rešetka na otvoru širine 10 m i visine 7,15 m izvedena je pod nagibom od 70° prema horizontali. Palice od plosnatog čelika međusobnog čistog razmaka od 35 mm naslanjaju se osim na prag i na gornji čeoni nosač još i na dva horizontalna, u pravcu strujanja vode nagnuta hidrauličko oblikovana čelična nosača.

Rešetka se čisti pomoću stroja za čišćenje rešetki s elektromotornim pogonom. Grabilica stroja za čišćenje izvedena je robustno i može u danom slučaju prilikom spuštanja služiti kao uteg za razbijanje leda.

Osim toga predviđa se, s obzirom na klimatske prilike, grijanje fine rešetke u području zahvaćenom promjenama vodostaja.

Prag pomoćnog i glavnog zatvarača nalazi se na koti 307 m.

Zatvarači su jednakih dimenzija, t. j. za zatvaranje čistog otvora 4,5 m × 4,5 m.

Glavni zatvarač sastoji se od dva dijela, koji su međusobno horizontalno povezani upornim limom s jedne i vezicama s druge strane. Međusobna veza nije kruta, tako da je zajamčeno jednakomjerno nalijeganje svih osam točkova (četiri točka na svakom dijelu).

Kod zatvarača od jednog krutog tijela sa više nego četiri točka, jednakomjerno nalijeganje svih točkova stvara velikih teškoća, pogotovo u slučajevima gdje se zatvarač zbog njegovih dimenzija ne može u cijelosti izraditi u radionici.

Izabrana konstrukcija ima i tu prednost, da se svaki dio za sebe kompletno dovrši u radionici i na montaži se dva dijela međusobno na relativno jednostavan način povežu zakovicama i zavrtnjevima. U radionici izrađeni dijelovi su izvedeni kao zatvoreni sandučasti profili, sastavljeni od limova i električno zavareni.

Zatvarač je dimenzioniran na najveći pritisak, koji odgovara visini vodnog stupa na pragu od 14 m.

Punjenje dovodnog tlačnog rova vrši se djelimično podizanjem glavnog zatvarača. Da bi se smanjile sile dizanja, uporni lim je povučen u donjem dijelu nizvodno.

Dizanje se vrši dvovretenskim vitlom na elektromehanički i rezervni ručni pogon, a nizvodno položeno zaptivanje dopušta i zatvaranje zatvarača pod jednostranim pritiskom.

Kod glavnog zatvarača predviđeno je obostrano (t. j. uzvodno i nizvodno) brtvljenje. Za slučaj da je poželjno iskorištavati vodu samo iz jezera Sabljaki, kod niže vodne razine u jezeru Bukovnik, mora zatvarač brtviti i prema vodi s nizvodne strane. Brtvila su izvedena od profilirane gume, a na pragu se brtvenje vrši čelikom i gumom.

Pomoćni zatvarač, koji omogućuje pregled i popravak glavnog zatvarača, izveden je s montažnih razloga također od dva dijela. Pošto se taj

zatvarač diže samo pod izjednačenom vodnom razinom, otpadaju sile trenja vodnog tlaka, tako da je zatvarač mogao biti izveden kao klizni.

Konstrukcija pomoćnog zatvarača u principu je ista kao kod glavnog zatvarača, od lakših, električno zavarenih punih limenih nosača.

Za izjednačenje uzvodnog i nizvodnog vodnog tlaka služe u zatvarač ugrađeni ventili, pomoću kojih se prostor između oba zatvarača napuni vodom do izjednačenja prije početka dizanja. Samo dizanje se vrši primjenom kliješta, koja zahvataju ispod glava gljivastih pomenutih ventila, pa ih otvaraju i tek nakon izjednačenja vodne razine podižu zatvarač. Nosač, na kojem su namještena kliješta, kao i mehanizam njihovog pogona, visi na pokretnoj mosnoj dizalici nosivosti 16 tona i raspona 7 m.

Pomoćni zatvarač smješten je, kada se ne nalazi u pogonu, na za to određenom mjestu deponaže, opremljen gornjom konsolom i pragom.

Revizija glavnog zatvarača vrši se u za to predviđenom prostoru ispod mehanizma, ali se zatvarač može pomoću spomenute dizalice izvući i u pogonsku kućicu.

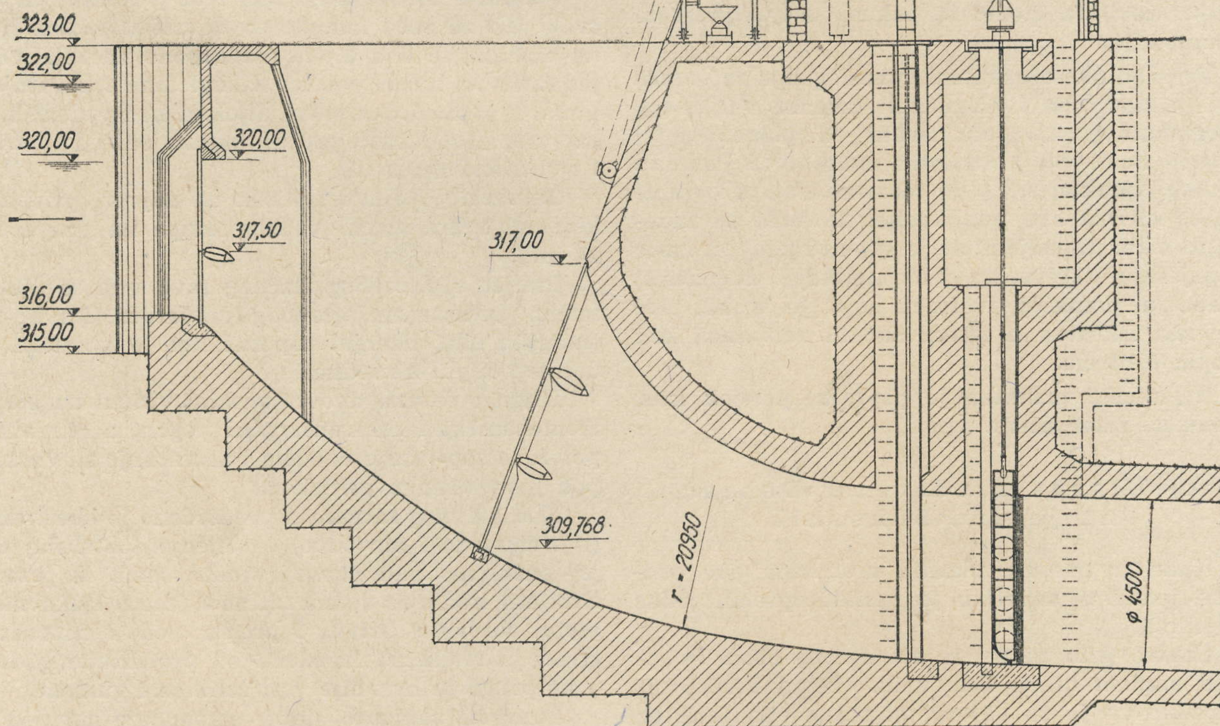
U slučaju potrebe velikih popravaka glavnog zatvarača mogu se oni vršiti i u gornjem (glavnom) prostoru pogonske kućice. Za tu svrhu se moraju demontirati elektromehanička vitla, nakon čega se zatvarač mosnom dizalicom podigne u glavni prostor pogonske kućice.

Slika 3 prikazuje presjek kroz ulaznu građevinu.

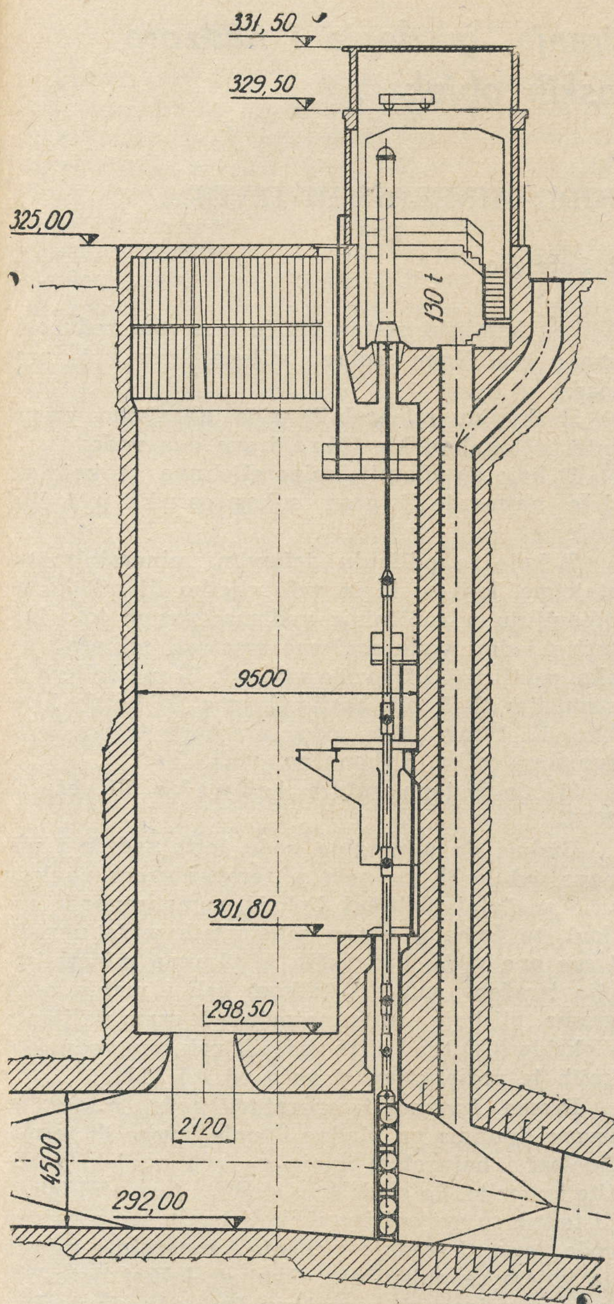
D) Vodna komora

Sigurnosni tablasti zatvarač smješten je na izlazu tlačnog cijevnog voda iz vodne komore. Zatvarač dimenzija 2400 × 4500 mm izveden je u zavarenoj konstrukciji i podijeljen u tri komada. Time je osigurano jednakomjerno opterećenje točkova i olakšan transport i montaža. Maksimalni pritisak na zatvarač, koji nastupa kod zatvaranja zbog prigušenja pod diafragmom, iznosi 45 m vodenog stupa.

Zatvarač se podiže i spušta hidrauličnim pogonom, koji je smješten na tjemenu vodne komore i povezan je sa servomotorom motkama za dizanje. U pogonu zatvarač visi neposredno iznad ulaznog lijevka u pripravnom položaju. Taj prostor izgrađen je kao posebna komora, koja je iznad pogonskog položaja zatvarača pokrivena čeličnom pločom, ali dopušta prolaz motkama za dizanje. Time se stvara u komori zatvarača jako prigušenje vertikalnih valova vode i štiti zatvarač od vertikalnih udara vode.



Sl. 3 — Presjek kroz ulaznu građevinu



Sl. 4 — Presjek kroz vodnu komoru

Zatvarač ima nizvodno brtvljenje od gume profila »muzičke note«, koja u zatvorenom položaju naliježe na nerđajuće kromne lamele. Gornje horizontalno brtvljenje kliže po čeličnom limu sve do svog najvišeg pogonskog položaja, kako bi se spriječilo nepovoljno odstupanje brtvila za vrijeme pokretanja zatvarača.

Montaža i revizija zatvarača vrši se na prostoru iznad njegovog najvišeg pogonskog položaja. Posebni zahvati i oslonci predviđeni su za prihvatanje zatvarača, a za njegovo izvlačenje na revizijski prostor služi hidraulički pogon.

Pogonska kućica dolazi djelomično u područje visokih valova u vodnoj komori, ali je taj smještaj prihvaćen zbog boljeg terena na mjestu oslonca glavne noseće ploče i zbog niže pogonske kućice iznad gornje ploče vodne komore. Poradi gornjih valova stapnica servomotora brtvljena je protiv prolaza vode u pogonsku kućicu.

Hidraulički pogon snabdjeven je automatskim uređajem za spuštanje zatvarača. Posebni brzinski detektor, koji radi u zavisnosti od protoka turbina, odmah automatski spusti zatvarač u slučaju loma cijevnog voda.

Zatvarač u pripremnom položaju visi na ulju servomotora. Impuls detektora otvara posebni ispusni ventil, a ulje, pod pritiskom sile što je preko motki za dizanje vrši zatvarač, isteče iz servomotora i zatvarač se spusti. Količina ulja što istječe, i time vrijeme zatvaranja, može se regulirati.

Vrijeme zatvaranja predviđa se sa 50 sek., s obzirom na nepoželjno povišenje pritiska u dovodnom tunelu zbog diafragme.

Sile, koje nastupaju za vrijeme zatvaranja, u zavisnosti od protoka vode sve do prostog izliva u slučaju loma cijevnog voda, utvrđene su modelskim ispitivanjem.

Slika br. 4 prikazuje presjek kroz vodnu komoru sa sigurnosnim zatvaračem.

Antun Stepinac, C. E., Elektroprojekt, Zagreb

About laboratory hydraulic investigations in Croatia

In this article the cause is explained why it came to the foundation of a hydraulic laboratory in Zagreb in spite of existing big laboratories in Beograd and Ljubljana.

The idea has originated ove of the need of the consulting firm »Elektroprojekt« and the laboratory is therefore working exclusively within and for this organisation. This makes it a unic type of hydraulic laboratory not only in Yugoslavia but in the world as well.

Many investigated hydraulic proplems in the laboratory, of which a few more remarkable ones are listed in this article, serve as a justification of its existance.

Ing. Stepinac A., Elektroprojekt, Zagreb

Les recherches hydrauliques sur modèle réduit en Croatie

Le rapport explique les raisons qui ont été prise en considération lors de la fondation du Laboratoire hydrotechnique à Zagreb, malgré les deux plus grands déjà existants à Beograd et Ljubljana. L' »Elektroprojekt« de Zagreb a senti le manque de données expérimentalés dans l'étude des problèmes hydrauliques concernant ses projets de centrales hydroéléctriques. La création d'un laboratoire, qui fournirait çes données simultanément à l'étude théorique qui se faisait dans le bureau, s'imposait. Les fondateurs de ce laboratoire lui ont donnés par consequent un caractère spécial, presque unique dans son genre. Un bref aperçu hystorique des études faites à ce laboratoire avec les resultats obtenus, amène l'auteur de conclure, que les éspoires mis dans l'activité du laboratoire, ont été pleinement justifié.

Primjeri i iskustva iz projektiranja, građenja i nadzora kod hidrograđevinskih objekata

MEHANIZAM I KAPTIRANJE VODE MINERALNIH IZVORA

Ing. **Josip Bać**, Sarajevo

Uvod

Savremena balneologija poklanja u posljednje vrijeme sve veću pažnju značaju mineralnih voda, zbog njihovih izvanrednih terapeutskih svojštava. Usporedo s razvojem balneologije pooštravaju se i zahtjevi što se tiče kvaliteta, izdašnosti, kemijskog karaktera i konzervacije mineralne vode, a posebno, dobivanja i iskorišćivanja plinova i zaštite izvora. Stručnjaku hidrologu, kojemu se povjerava najvažniji zadatak izvorišne tehnike, tj. kaptiranje mineralnog izvora, od osobite je važnosti poznavanje posljednjeg dijela izvorišnog puta, koji voda savlađuje prema površini zemlje. O njemu će biti ovisan i način zahvata mineralnog izvora.

Najveći broj mineralnih i termalnih izvora nastaju na sličan način kao i izvori »obične« vode. Neznatno malen broj hrani se juvenilnom vodom. Da se vadozna voda pojavi ponovo na površini zemlje kao izvor termalne ili mineralne vode, ona mora savladati vrlo dugačak put, dopirući često do velikih dubina, gdje postoje uvjeti da se obogati mineralnim sastojcima, odnosno da poprimi toplinu stijena kroz koje prolazi. Ovako obogaćena, penje se pod hidrostatskim pritiskom prema površini zemlje, obično uz kakav duboki rasjed ili pukotinu, savlađujući svoj zadnji dio puta relativno brzo. Značajno je, da su tektonski događaji naročito oni, koji su se zbili u bližoj geološkoj prošlosti, praćeni magmatskim izlivima, uslovili postanak i pojavu termalnih i mineralnih izvora.

Po mehanizmu možemo najveći broj mineralnih i termalnih izvora uvrstiti u grupu uzlaznih ili arteških izvora, kod kojih voda struji na svom posljednjem dijelu puta prema mjestu izviranja skoro uspravno usmjerenom komponentom. Samo neznatan njihov broj možemo uvrstiti u grupu silaznih ili gravitacionih izvora, kamo spada i većina izvora s »običnom« (»slatkom«) vodom. I pokraj zamjerki što ih izvjesni autori stavljaju ovakvoj podjeli izvora prema njihovom mehanizmu, mi ćemo je i pokraj toga zadržati, jer je smjer kretanja vode na posljednjem dijelu izvorišnih puteva od presudnog značaja za tehniku kaptiranja mineralnih izvora.

Na proces rastvaranja minerala povoljno djeluju visoke temperature, veliki pritisci i prisutnost kiselina u vodi. Zbog toga su mineralne vode po pravilu podzemne vode većih dubina, koje vrlo često mogu imati i dosta visoku temperaturu. Njihov kemijski sastav bit će u prvom redu ovisan o geološkom sastavu stijena, kroz koje prolaze.

U skupinu mineralnih voda ubrajamo prema internacionalnoj klasifikaciji sve one vode:

1) koje su znatnije mineralizirane, tj. koje sadrže najmanje 1 gram suhog ostatka u 1 litri vode;

2) koje se odlikuju takovim mineralnim sastojcima, koji se inače vrlo rijetko ili nikako ne pojavljuju u »običnim« vodama; prema tom kriteriju jednu vodu možemo smatrati mineralnom, ako sadrži u 1 litri vode više od: 10 mg željeza ili stroncija; ili 5 mg barija, broma ili borne kiseline; ili 1 mg litija, joda, arsenova trioksida ili sumporovodika, i, konačno, vode

3) čija je temperatura jednaka ili veća od 20^0 C.

Budući da mineralne vode često sadrže i plinove, od kojih su neki u terapeutskom pogledu vrlo značajni (ugljični dioksid, sumporovodik, radon), to ćemo u grupu mineralnih voda uvrstiti i sve one vode, kod kojih je ukupna mineralizacija izražena suhim ostatkom čak i manja od 1 grama, ali koje sadrže najmanje 1 gram ugljičnog dioksida (CO_2) u 1 litri vode ili pak one vode, kod kojih je radioaktivnost veća od 3,5 MJ.

Prema izlaznoj temperaturi vode, mineralne izvore dijelimo na hladne i tople izvore ili terme. Geolozi i balneolozi imaju za ovu podjelu različite kriterije. Sa geološkog gledišta termalni izvori ili terme su svi oni izvori, koji imaju temperaturu vode veću od srednje godišnje temperature mjesta na kojem se pojavljuju. Ovoj geološkoj definiciji može se prigovoriti s razloga, što vodu planinskog izvora niske temperature od svega nekoliko stupnjeva C treba uvrstiti u red termalnih izvora, a vodu izvora u tropskoj oblasti temperature 20 ili više stupnjeva C u red hladnih izvora, jer im je temperatura vode veća odnosno manja od srednje godišnje temperature mjesta na kojem se pojavljuju. Sa balneološkog gledišta oduvijek je bio mjerodavan osjećaj topline na ljudskoj koži. Termalnim izvorima balneolozi smatraju one izvore, kod kojih je temperatura vode jednaka ili veća od 20^0 C. Uspoređujući temperaturu vode s normalnom temperaturom čovječjeg tijela, balneolozi su izvršili daljnu podjelu termalnih izvora na: hipotermalne, kod kojih je temperatura vode u granicama od 20^0 C do 34^0 C; homeotermalne, s temperaturom vode od 34^0 C do 38^0 C i hipertermalne, s temperaturom vode većom od 38^0 C.

Kaptiranje vode mineralnih izvora

Uslovi, pod kojima se javljaju mineralni izvori, presudni su pri izboru mjesta i načina njihova kaptiranja, kojime mijenjamo posljednji dio izvorišnog puta, da bismo dobili maksimalnu količinu vode, koju nam prirodni mehanizam toga izvora može konstantno davati. Kaptiranjem nastojimo spriječiti svaki gubitak vode i plina, a također i svaku promjenu fizičkog i kemijskog karaktera vode od prirodnih izvorišnih puteva do mjesta njezine upotrebe. Kod plinovitih izvora moramo prikladnim načinom kaptiranja nastojati, da povoljno djelovanje plina dođe do punog izražaja. Konačno, kaptiranjem moramo izlivu mineralne vode dati takav oblik i veličinu, koja će zadovoljiti svim zahtjevima racionalnog iskorišćivanja vode i plina.

Većina mineralnih izvora prema njihovom mehanizmu — kako je to već u uvodu naglašeno — spadaju u grupu uzlaznih izvora. Njihovo se kaptiranje u biti razlikuje od kaptiranja vode silaznih ili gravitacionih izvora i predstavlja za ispravno rješenje mnogo teži tehnički problem. Prilikom kaptiranja vode uzlaznih izvora mijenjamo vještačkim zahvatima posljednji dio izvorišnog puta na manjoj ili većoj dužini, dajući mu takav oblik i veličinu, da mineralna voda može dospjeti do površine zemlje sa što manje otpora. Prirodni izvorišni putevi pružaju uzlaznoj mineralnoj vodi velike otpore, zbog svog vijugavoj i često vrlo kompliciranog toka, nepravilnih proticajnih profila različitog oblika i veličine, kao i velike hrapavosti. Skraćivanjem izvorišnog puta uz primjenu vrelišnih cijevi s glatkim zidovima smanjujemo otpore proticanju vode i time povećavamo njenu brzinu odnosno izdašnost samog izvora.

Kod kaptiranja vode uzlaznih izvora služimo se ovim metodama rada: razotkrivanjem zemljišta, kopanjem bunara, dubinskim bušenjem ili kombinacijom navedenih metoda.

R a z o t k r i v a n j e m z e m l j i š t a trebali bismo se služiti samo prilikom istražnih radova do relativno malih dubina, kao i prilikom kaptažnih radova, ako se osnovno gorje sa vrelišnim putevima nalazi plitko ispod površine zemlje. Samo u tom slučaju bit ćemo u stanju spriječiti da se mineralna voda i plinovi gube kroz aluvijalni nanos ili uopće kroz rastresite i permeabilne slojeve zemljišta, zahvaćajući vodu mineralnog izvora izravno na čvrstoj stijeni. Nažalost, taj se metod rada primijenjuje vrlo često i onda, kada se kompaktna stijena s izvorišnim putevima nalazi duboko ispod površine terena tako, da taj rad postaje vrlo skup, vrlo otežan, a što se tiče uspješnog zahvata mineralnog izvora i vrlo problematičan.

K a p t i r a n j e p o m o ć u k o p a n i h b u n a r a prastar je način zahvata podzemnih voda uopće. Vode brojnih mineralnih izvora, kod nas i u svijetu, kaptirane su na bunarski način. Takvo kaptiranje primijenjujemo, ako se osnovno gorje nalazi na većoj dubini, pa razotkrivanje zemljišta ne bi bilo prikladno. Primijenjujući taj metod rada nailazimo na bezbroj teškoća, koje se povećavaju sa dubinom, naročito poradi priliva većih količina podzemnih voda, a često i plina. Priliv podzemnih voda i plina stvara obično nesavladive prepreke pri danim uslovima, tako da potpuno onemogućava pravilan zahvat vode mineralnog izvora na potrebnoj dubini.

Razotkrivanjem zemljišta i kopanjem plićih ili dubljih bunara, na pr. u obliku rudarskog okna, rijetko udovoljavamo osnovnim principima kaptiranja vode mineralnih, a posebno plinovitih izvora. Većina tih izvora pojavljuje se na najnižim mjestima aktivnih ili mrtvih riječnih dolina odnosno erozionih baza i prekriveni su vrlo često slojem aluvijalnog nanosa velike debljine. Vode mineralnih izvora na izlazu iz kompaktne stijene osnovnog gorja, na svom putu prema površini zemlje, granaju se u obliku lepeze, prolazeći kroz trošne slojeve stijena i aluvijalne nanose. Plitkim razotkrivanjem zemljišta samo u izuzetnim slučajevima dosižemo do čvrste stijene osnovnog gorja, koje se obično nalazi dosta duboko ispod površine terena. Osim toga, i površinski slojevi osnovnog gorja često su vrlo trošni i obiluju prslinama i pukotinama, tako da pružaju nebrojene mogućnosti za gubitak mineralne vode i plina, raznim pravcima i putevima, linijom najmanjeg otpora.

D u b i n s k o b u š e n j e kao metod rada pri kaptiranju vode uzlaznih mineralnih izvora ima neosporne prednosti nad ostalim metodama rada, naročito, ako se osnovno gorje, iz kojeg izlazi mineralna voda, nalazi na većoj dubini ispod površine zemlje. Rad na zahvatu vode mineralnog izvora mnogo je brži i jeftiniji. Zbog upotrebe cijevi kružnog presjeka sa glatkim zidovima smanjujemo u bitnoj mjeri otpore, i to tim više ukoliko je zahvaćena mineralna voda na većoj dubini. Smanjenjem otpora na izvorišnim putevima povećavamo brzinu istjecanja vode odnosno povećavamo izdašnost izvora. Kod termalnih izvora povećanjem brzine utječemo na povećanje temperature vode, a kod radioaktivnih voda na povišenje radioaktiviteta. Dobro lociranom produktivnom bušotinom možemo prouzročiti potpuno nestajanje tzv. »divljih izvora« u korist izdašnosti i mineralizacije novog mineralnog izvora. Bušotinu zaštićujemo od zarušavanja obložnim kolonama, s kojima ujedno sprječavamo bilo kakovo prodiranje nepoželjnih (površinskih ili podzemnih) voda u izvorišne puteve, i to baš na onom dijelu izvorišnog puta, gdje za to postoji najveća mogućnost zbog smanjenih pritisaka i znatne superkapilarne poroznosti površinskih slojeva zemlje. Dubinskim bušenjem zahvaćamo mineralnu vodu na većoj dubini nego što bi se to moglo izvršiti drugim metodama rada, čime osiguravamo, osim povećane izdašnosti, također i konstantnu mineralizaciju vode.

Kaptiranje vode plinovitih izvora pomoću dubinskog bušenja naročito je važno. Kod njih se diže voda prema površini zemlje i pod uplivom

plina, koji mehanički pomiješan smanjuje specifičnu težinu vode, zbog čega će se ona podignuti na viši nivo nego što bi to bio slučaj sa vodom bez plina, samo pod djelovanjem hidrostatičkog pritiska. Do ove mješavine plina i vode kod plinovitih izvora dolazi po pravilu priticanjem plina u mlaz vode uzlaznog kanala odnosno pukotine, kojom se voda diže prema površini zemlje. Voda će otopiti srazmjerno pritisku i temperaturi određeni dio plina, a ostatak će se mehanički pomiješati sa vodom, smanjujući njezinu specifičnu težinu. Sva količina plina može biti također otopljena od vode u velikim dubinama odnosno pod velikim pritiscima kao što je to slučaj na pr. kod juvenilnih voda. Iz vode, na njenom putu prema površini zemlje, poradi postepenog smanjenja pritisaka u izvorišnim putevima, oslobađaju se sve veće količine plina. Specifična težina mješavine vode i plina biće to manja, što se u vodi nalaze veće količine plina i što je on bolje razrijeđen u vodi odnosno ukoliko su mjehurići plina sitniji. To je vrlo važan momenat, koji trebamo imati na umu prilikom kaptiranja plinovitih izvora, jer veliki promjeri izvorišnih cijevi dopuštaju lakše i brže izmicanje plina u sve većim mjehurićima. Na taj način zaostaje voda s manje plina, koja ima veću specifičnu težinu, niži piezometarski nivo, manju brzinu, odnosno, izvor će imati manju izdašnost. Sniženi piezometarski nivo može se nepovoljno odraziti i na mineralizaciju vode u slučaju, ako postoji mogućnost priticanja »obične« podzemne vode u izvorišne puteve pod utjecajem razlike u vrijednostima između hidrostatskog pritiska podzemne vode i hidrauličkog pritiska u izvorišnim putevima.

Na visinu piezometarskog nivoa i izdašnost jednog plinovitog izvora nepovoljno utiče i izbor suviše malih promjera izvorišnih cijevi, zbog povećanog trenja i povećane relativne brzine strujanja plina u odnosu na brzinu mineralne vode. Prema tome, kod plinovitih izvora moramo uvijek prilikom kaptiranja mineralne vode odrediti o p t i m a l n i   p r o m j e r   i z v o r i š n i h   c i j e v i. Isto tako, kod svih izvora hladne ili termalne vode i bez obzira na to, da li se radi o plinovitim ili neplinovitim izvorima, moramo odrediti i o p t i m a l n u   v i s i n u   p r e l i v n o g   n i v o a. Jedino i samo u tim slučajevima možemo postići optimalnu izdašnost i konstantnu mineralizaciju, koja je s medicinskog stanovišta opravdan i važan uslov.

Navedenim prednostima dubinskog bušenja stoje nasuprot i značajni nedostaci. Prije svega, dubinskim bušenjem možemo izgubiti kroz nabušene prsline i pukotine postojeći mineralni izvor, na kojem su ranije izvršeni nestručni zahvati ili pak izvor, čiju vodu želimo po prvi puta zahvatiti. Na produktivnoj bušotini možemo dobiti mineralnu vodu, koja se bitno razlikuje po svom kemijskom sastavu i fizičkim osobinama. Pri najsavjesnijem izboru mjesta za bušotinu na osnovu izvršenih hidrogeoloških studija, bušotina ne mora biti produktivna. Stoga se prilikom kaptiranja vode jednog mineralnog izvora predviđaju po pravilu n a j m a n j e   č e t i r i   b u š o t i n e, od kojih i pokraj toga nijedna ne mora biti produktivna.

Usprkos ovim nedostacima, držimo da ipak treba dati prednost dubinskom bušenju prilikom kaptiranja vode mineralnih izvora. U prilog tome neka posluže uspješno izvršeni istražni i kaptažni radovi u periodu od god. 1948 do 1955 u Ilidži kod Sarajeva, Kiseljaku, Vrućici kod Teslića, Kulašima, Vitiničkom Kiseljaku i Kozluku kod Zvornika (NR BiH) zatim u Rogaškoj Slatini (NR Slovenija), Štipu (NR Makedonija) i u Mladenovcu (NR Srbija).

Motrenje na izvorima mineralnih voda

Voda svakog pojedinog mineralnog izvora izložena je tokom izvjesnog vremenskog intervala manjim ili većim karakterističnim promjenama. Osim ovih normalnih promjena mogu nastupiti i znatnije promjene izazvane štetnim utjecajima čovjeka na izvorišni mehanizam, kao na pr.: dublja zasijecanja terena, gradnja tunela, rudarski radovi, kopanje dubokih bunara, duboka sondiranja terena, otvaranje kamenoloma upotrebom eksploziva, hidrogradnje, kojima se utječe na sniženje ili povišenje nivoa vode u riječnom koritu ili na nivo podzemne vode na užem izvorišnom području, itd. Na to je osobito osjetljiv mehanizam plinovitih izvora. Bitne promjene na izvorišnom mehanizmu mogu biti izazvane samo u rijetkim slučajevima prirodnim utjecajima, kao na pr. snažnijim trusovima, (zemljotresima); one mogu biti prolaznog ili stalnog karaktera.

Savremena znanost nastoji da o svakom pojedinom značajnijem mineralnom izvoru dobije što točniju karakteristiku utvrđivanjem svih njegovih individualnih promjena, mjerenjem njihovih veličina i vremenskih intervala, u kojima te promjene nastaju. Osobito je važno utvrđivanje uzroka tih promjena. Prilikom kaptažnih radova na jednom izvoru ili sanacionih radova na izvorišnom području i, konačno, prilikom određivanja granica zaštitnog područja, prikupljeni, obrađeni i stručno interpretirani podaci sistematskog motrenja imaju neprocjenjivu vrijednost.

Uobičajena motrenja na mineralnim izvorima svode se uglavnom na mjerenja:

a) barometarskog tlaka,
b) temperature uzduha,
c) atmosferskih padavina,
d) visine vodostaja u obližnjim vodotocima,
e) visine nivoa podzemne vode,
f) izdašnosti mineralnih izvora,
g) izdašnosti plina (kod plinovitih izvora),
h) radioaktiviteta (kod radioaktivnih voda),
i) kemizma vode i
j) bakteriološkog pregleda.

Po izloženom je jasno, da sistematsko prikupljanje podataka o izvršenim mjerenjima ima svoju svrhu i da ona mogu korisno poslužiti samo onda, ako se prikupljaju na način, koji će imati

naučnu i praktičnu vrijednost. Ograničeni u vremenu i u prostoru, moramo se ovdje zadržati samo na osnovnim principima prikupljanja podataka o izdašnosti i mineralizaciji vode.

Rijetki su slučajevi, da se na loše kaptiranom mineralnom izvoru u toku dužeg niza godina ne vrše manje ili veće promjene, koje su neizbježne, a vrlo često i radikalne, naročito kod rekaptažnih radova. Iskorišćujući prikupljene podatke o mjerenjima izdašnosti i mineralizaciji iz ranijeg perioda za uporeðenje s najnovijim podacima mjerenja možemo dobiti pogrešnu sliku o nastalim promjenama u mehanizmu izvora, ako su u meðuvremenu bili izvršeni bilo kakovi zahvati na izvoru, kojima su se promijenili uslovi istjecanja vode. Zbog toga, kod dobro organizirane službe motrenja moramo uz dobijene vrijednosti za izdašnost i mineralizaciju uvijek navesti i uslove, pod kojim je istjecala mineralna voda. Drugim riječima, uz dobijene vrijednosti **t r e b a m o u v i j e k n a v e s t i p r o m j e r i d u ž i n u i z v o r i š n i h c i j e v i i v i s i n u p r e l i v n o g n i v o a**. Na žalost, vrlo su rijetki podaci o izdašnosti i mineralizaciji, kod kojih su uz dobijene vrijednosti navedeni i uslovi istjecanja mineralne vode.

Kod neplinovitih izvora promjenom visine prelivnog nivoa i promjera izvorišnih cijevi utičemo i na promjenu izdašnosti zahvaćenog izvora. Kod plinovitih izvora pri istoj prelivnoj visini izdašnost će biti ovisna i o optimalnom promjeru izvorišnih cijevi. Izborom promjera izvorišnih cijevi, većeg ili manjeg od optimalnog, izdašnost će biti pri istoj preljevnoj visini u oba slučaja manja zbog toga, što ne će doći do punog izražaja povoljno djelovanje plina. Usvajanje višeg prelivnog nivoa od optimalnog stvara mogućnost, da se jedan dio mineralne vode gubi podzemnim putevima, linijom manjeg otpora. Izdašnost glavnog izvora može se osjetno smanjiti u korist nepoželjnog povećanja izdašnosti »divljih« izvora. Usvajanjem nižeg prelivnog nivoa od optimalnog povećavamo izdašnost. Ako postoje uvjeti za prodiranje obične podzemne vode u izvorišne puteve zbog smanjenog hidrauličkog pritiska, imat ćemo pojavu demineralizacije vode; kod termalnih izvora možemo imati nepoželjnu pojavu sniženja temperature vode. Prema izloženom, **m a k s i m a l n u i z d a š n o s t i k o n s t a n t n u m i n e r a l i z a c i j u m o ž e m o p o s t i ć i k o d p l i n o v i t i h i z v o r a j e d i n o i s a m o i z b o r o m o p t i m a l n o g p r o m j e r a i z v o r i š n i h c i j e v i i o p t i m a l n o m p r e l i v n o m v i s i n o m.**

Kod plinovitih i neplinovitih izvora što na većoj dubini zahvatimo vodu, odnosno, što je veća dužina izvorišnih cijevi, to će veća biti izdašnost mineralne vode. Zbog povećanih brzina može se osjetno povećati temperatura vode kod termalnih izvora, a kod radioaktivnih voda njihov radioaktivitet.

Primjeri:

1. **P r i m j e n a d u b i n s k o g b u š e n j a p r i l i k o m k a p t i r a n j a v o d e m i n e r a l n i h i z v o r a.**

a) Banja Ilidža kod Sarajeva. Kaptažni radovi izvršeni u god. 1948/49 pomoću jedne bušotine. Bušotina produktivna.

b) Lječilište Kiseljak kod Sarajeva. Kaptažni radovi izvršeni u god. 1949. Druga bušotina produktivna.

c) Lječilište Vrućica kod Teslića. Kaptažni radovi izvršeni u god. 1950. Od četiri bušotine, dvije produktivne.

d) Kulaši kod Prnjavora. Kaptažni radovi izvršeni u god. 1951. Od 5 bušotina, svih pet produktivnih.

e) Rogaška Slatina. Istražni i kaptažni radovi vršeni samo u ljetnim mjesecima god. 1952, 1953 i 1955. Prva bušotina bila je produktivna. Ukupno zadržano 5 produktivnih bušotina.

f) Štip. Kaptažni radovi vršeni u god. 1953. Od šest bušotina, 5 produktivnih.

g) Mladenovac. Kaptažni radovi izvršeni god. 1954/55 pomoću samo jedne bušotine. Bušotina produktivna.

h) Vitinički (Jasenički) Kiseljak kod Zvornika. Kaptažni radovi izvršeni u god. 1954. 2 bušotine; obje produktivne.

i) Kozlučki Kiseljak kod Zvornika. Kaptažni radovi izvršeni u god. 1954. Od dvije bušotine, jedna produktivna.

2. **P o v o l j a n u p l i v d u b i n s k i h z a h v a t a m i n e r a l n e v o d e p l i n o v i t i h i z v o r a n a p o v i š e n j e p i e z o m e t a r s k o g n i v o a.**

Povišenje piezometarskog nivoa kod neplinovitih izvora mineralne vode je neznatno za razliku od plinovitih izvora, gdje to povišenje pod korisnim djelovanjem plina može biti osjetljivo, kao što se to vidi iz narednih primjera:

a) Kiseljak. Prije kaptažnih radova nivo vode na izvoru oko 1 m ispod površine terena. Nakon zahvata vode dubinskim bušenjem piezometarski nivo povišen za oko 6 m.

b) Vrućica. Piezometarski nivo na visini oko 2 m ispod površine terena. Nakon zahvata piezometarski nivo viši za oko 7 m.

c) Rogaška Slatina. Piezometarski nivo oko 7 m ispod površine terena. Nakon zahvata vode dubinskim bušenjem piezometarski nivo viši za oko 14 m!

d) Vitinički Kiseljak. Piezometarski nivo povišen za oko 1 m.

e) Kozlučki Kiseljak. U radiusu oko 3 km nije postojao nijedan mineralni izvor. Pošto su postojali uslovi, da bi se dubinskim bušenjem mogao dobiti izvor mineralne vode, odreðena je lokacija za dvije bušotine, od kojih je jedna bila produktivna, s piezometarskim nivoom od oko 1,2 m iznad okolnog terena.

3. Upliv izbora optimalnog promjera izvorišnih cijevi i optimalnog prelivnog nivoa na izdašnost i mineralizaciju vode plinovitih izvora.

Kod produktivnih bušotina plinovitih mineralnih izvora navedenih pod tač. 2 od a) do e) izvršena su određivanja optimalnog promjera izvorišnih cijevi i optimalnog prelivnog nivoa. Na produktivnim bušotinama u Rogaškoj Slatini pokusi su još uvijek u toku. Na produktivnim bušotinama neplinovitih mineralnih izvora navedenih pod tač. 1 a), d) i f) određivani su bili samo optimalni prelivni nivoi. Zaštitne kolone ugrađene u pojedine bušotine služile su kao izvorišne cijevi.

Zbog znatno povišenog piezometarskog nivoa u odnosu na prijašnji piezometarski nivo starih izvora, čije su vode bile mahom kaptirane na bunarski način, i zbog usvajanja optimalnog prelivnog nivoa i optimalnog promjera izvorišnih cijevi, dobivene su na produktivnim bušotinama zadovoljavajuće količine mineralne vode. U odnosu na stare izvore, izdašnost mineralne vode na produktivnim bušotinama-izvorima povećala se od 2 do 10, pa i više puta. (Na pr., u Kiseljaku se izdašnost povećala od 6 000 l na 450 000 litara mineralne vode na dan).

Navodimo i naredne primjere iz izvorišne tehnike, kod kojih se neznatnim i na izgled beznačajnim intervencijama utjecalo na osjetno povećanje izdašnosti vode mineralnih izvora.

Lječilište Dobrna (NR Slovenija). Početkom ovog stoljeća zahvaćena je termalna voda pomoću kopanog bunara na dubini od preko 6 m. Kaptažni bunar opremljen je besprijekorno. Prelivni nivo usvojen je u visini nivoa okolnog terena tako, da se termalna voda gravitacijom odvodi u skupni basen za kupanje i u rezervoar, iz kojeg se crpi i potiskuje u kade, koje su postavljene na većoj visini od nivoa vode u kaptažnom bunaru. Izdašnost izvora izmjerena je početkom ove godine i iznosi oko 240 l/min. Zbog proširenja kapaciteta lječilišta trebat će osigurati veće količine termalne vode, koje bi se mogle dobiti, prema mišljenju rukovodstva lječilišta, kaptiranjem novih izvora termalne vode primjenom dubinskog bušenja. Nakon detaljnijeg upoznavanja s mehanizmom termalnog izvora bilo je predloženo upravi lječilišta, da se prethodno izvrše opiti s određivanjem optimalnog prelivnog nivoa, jer se dobio utisak, da je nivo vode u kaptažnom basenu usvojen suviše visoko bez naročite potrebe. Opitima, izvršenima početkom god. 1956, to je i dokazano. Sniženjem prelivnog nivoa za 1,0 m izdašnost se je povećala na 600 l/min, a daljim sniženjem za još 0,5 m izdašnost se povećala na preko 900 l/min. Zbog konačnog utvrđivanja visine optimalnog prelivnog nivoa bit će potrebno da se nastavi s opitima u dužem vremenskom intervalu. U svakom slučaju, sniženjem usporenog nivoa vode na optimalnu prelivnu visinu dobit će se potrebne količine termalne vode, koje će u cijelosti moći zadovoljiti potrebe lječilišta s proširenim kapacitetima. Istražni i kaptažni radovi pomoću dubinskog bušenja otpadaju, kao nepotrebni. Trebat će izvršiti samo neznatne radove na adaptaciji basena za kupanje. U nove kupališne objekte moći će se dovesti termalna voda iz kaptažnog bunara prirodnim padom, zahvaljujući povoljnoj konfiguraciji terena.

U banji kod Gevgelije izvršen je sličan pokus god. 1954 na termalnom izvoru, gdje je također prelivni nivo usvojen suviše visoko.

U lječilištu Slatina Radenci (NR Slovenija) zahvaćena je krajem prošlog stoljeća plinovita mineralna voda kombiniranom metodom, tj. kopanim bunarom i bušenjem, na dubini od oko 30 m. Zbog nedovoljne izdašnosti, da se pokriju potrebe u vodi za kupke, vršeni su na tom izvoru brojni opiti i rekaptažni radovi, koji nisu zadovoljili. Početkom god. 1954 predloženo je upravi lječilišta, da se izvrše pokusi s izmjenom izvorišnih cijevi, koje bi približno odgovarale optimalnom promjeru. Rezultat je bio ovaj: pri istoj visini prelivnog nivoa povećala se izdašnost za preko 4 puta, tj. od 27,75 l/min. na 113,0 l/min.

U Rogaškoj Slatini ustanovljeno je, da se na produktivnoj bušotini br. XXIII može promjenom visine prelivnog nivoa za relativno male vrijednosti od svega 0,5 do 1,0 m osjetno utjecati na promjenu mineralizacije, čak i do 1,5 g ‰!

U Rogaškoj Slatini organizirane su u toku god. 1956 opsežna i sistematska prikupljanja podataka o izdašnosti mineralne vode i plina kao i o mineralizaciji vode na pojedinim produktivnim bušotinama, u svrhu definitivnog usvajanja optimalnog promjera izvorišnih cijevi i optimalnog prelivnog nivoa. Za razliku od uobičajenih svakodnevnih prikupljanja podataka o mjerenjima, koja se vrše jedamput dnevno, ta su se mjerenja vršila svakog petog dana u intervalima od po 1 sat. Ukupno je izvršeno 516 određivanja, čije su vrijednosti obrađene i grafički prikazane na 68 crteža. Obradom tih podataka dobijeni su vrlo zanimljivi rezultati, nepoznati u praksi izvorišne tehnike. Naime, osim normalnih promjena, kojima je bila izložena izdašnost i mineralizacija vode u toku pojedinih godišnjih doba, zapažene su i neprirodne promjene:

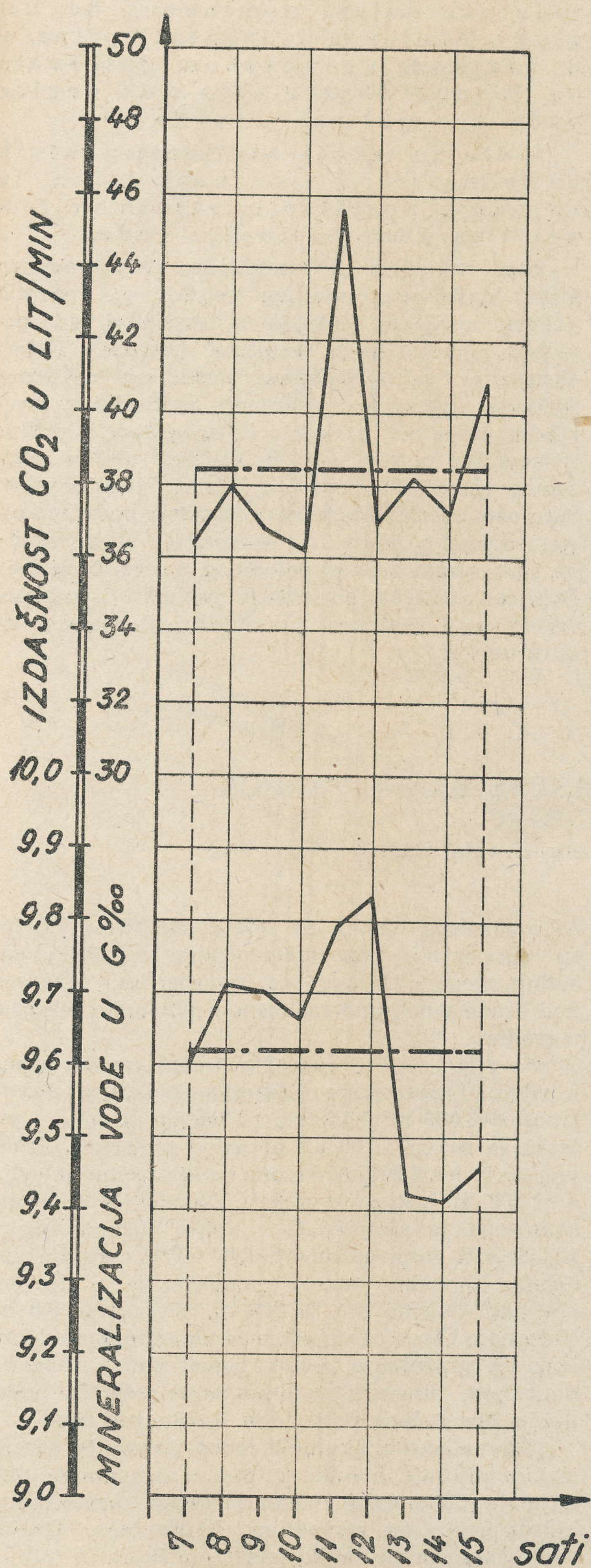
a) u dnevnim i mjesečnim količinama ekshaliranog CO_2;

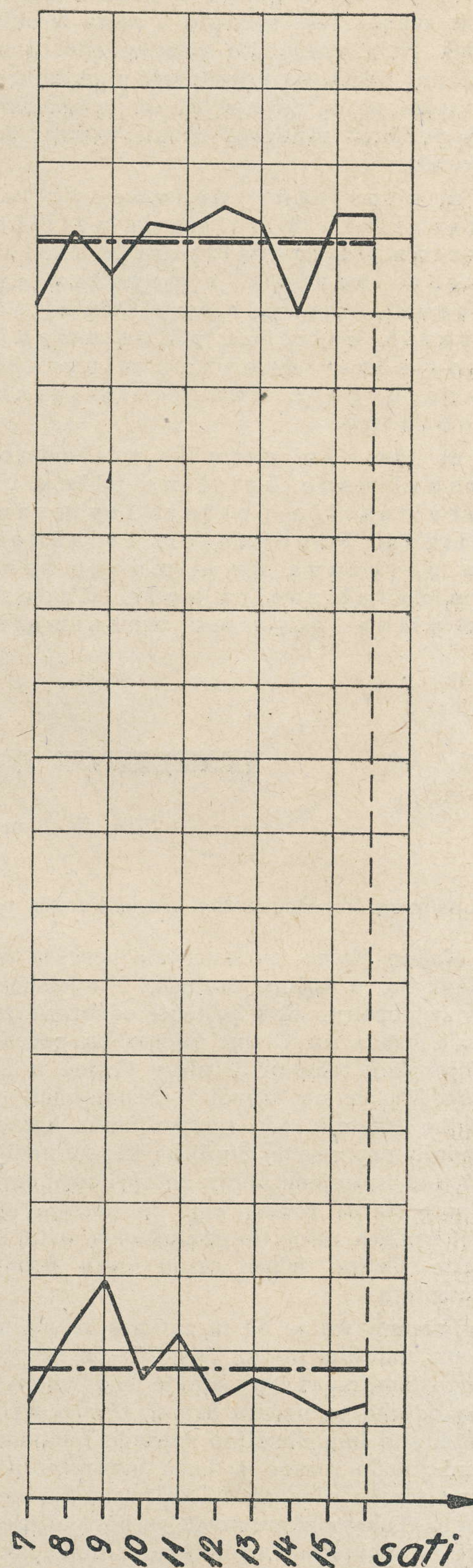
b) u mineralizaciji vode u kraćim vremenskim intervalima od 5 do 10 dana, koje su varirale obično u granicama do 0,5 grama, u rijetkim slučajevima čak i do 1,0 grama.

Takvi rezultati dali su povod, da se organizira prikupljanje podataka u toku jednog dana u intervalima od po 1 sat. Njihovom obradom utvrđene su vrlo interesantne pojave:

a) da je na četiri produktivne bušotine mineralizacija vode u toku jednog dana podvrgnuta stalnim promjenama u vrlo kratkim vremenskim intervalima;

b) da se promjene u mineralizaciji vode u toku jednog dana na pojedinim bušotinama bitno razlikuju što se tiče vremena, veličine i predznaka;





Grafički prikaz odnosa između izdašnosti CO_2 i mineralizacije na produktivnoj bušotini broj XVII

c) količine ekshaliranog ugljičnog dioksida (CO_2) izražene u litrama na minutu (l/min.) i mjerene svakog sata variraju u dosta širokim granicama. Nisu mogle biti ustanovljene ni na jednoj bušotini nikakove pravilnosti u ekshaliranim količinama plina, za razliku od vrijednosti dobijenih prilikom mjerenja u intervalima od po 10 sekundi.

d) prosječne dnevne vrijednosti ekshaliranih količina ugljičnog dioksida i mineralizacije stoje u obrnutom odnosu; s povećanjem prosječnih dnevnih vrijednosti ekshaliranih količina plina umanjuje se prosječna dnevna mineralizacija vode u gore navedenim granicama i obratno.

e) između satnih vrijednosti za ekshalirane količine plina i za mineralizaciju postoji izvjesan paralelizam. Povećanjem izdašnosti plina povećava se — mnogo sporije — i mineralizacija vode. Kada količine plina poprime maksimalne vrijednosti, dolazi neminovno do naglog smanjenja izdašnosti plina, a u kratkom vremenskom intervalu od jednog do dva sata i do naglog pada mineralizacije vode.

f) što su manje oscilacije satnih vrijednosti za izdašnost plina, to su manje i oscilacije satnih vrijednosti za mineralizaciju vode.

Tim pokusima nedvosmisleno je ustanovljen štetan upliv prekomjernog oslobađanja znatnih količina ugljičnog dioksida iz mineralne vode pojedinih produktivnih bušotina (izvora). Nakon ekspanzije većih količina slobodnog ugljičnog dioksida dolazi do smanjenja pritisaka u izvorišnim putevima, a time i do mogućnosti priliva u izvorišne puteve manjih količina obične podzemne vode iz neposredne blizine bušotine. Isto tako nam rezultati pokusa omogućuju poduzimanje odgovarajućih mjera, da se spriječe štetni uplivi na mehanizam svakog pojedinog izvora (bušotine). Dobijeni rezultati korisno će poslužiti i prilikom određivanja kemizma plinovitih mineralnih izvora uopće.

TEMELJENJE JEZGRE NASUTE BRANE PERUČA

Ing. **E. Nonveiller**, Geoistraživanja, Zagreb

1. Glavne karakteristike brane Peruča na Cetini

Nakon što su izvršena vrlo opsežna ispitivanja i bušenja, o kojima su naša i svjetska tehnička javnost opširno obaviještene, odabrano je za građenje brane na Cetini mjesto na početku uskog kanjonskog toka prije ulaza Cetine u Hrvatačko polje. Tlo se na lijevoj i desnoj obali do velike dubine sastoji od razlomljenih karstificiranih krednih vapnenaca. Šupljine karstifikacije bile su potpuno ispunjene dobro komprimiranom crvenom glinom (terra rossa), koja je kasnije djelomično opet isprana, pa je tlo propusno za vodu, a uz samo korito Cetine izlaze razna vrela promjenljivog kapaciteta.

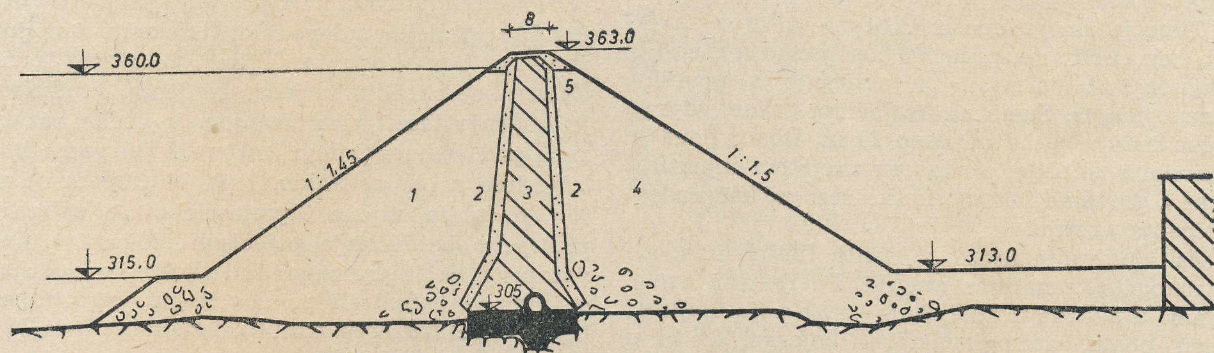
Branom visine 60 m zatvara se akumulaciono jezero sadržine preko ½ milijarde m³. S obzirom na razlomljenost tla pala je kod izbora mogućeg tipa odluka za nasutu branu. U neposrednoj okolini brane ima dovoljno zdravog vapnenca za kameni nasip brane i dosta ograničenih količina gline visoke plastičnosti za nasipanje nepropusne jezgre. Takova brana može se bez daljnjega fundirati na površini razlomljene stijene, ako se poduzmu mjere za sprečavanje protjecanja vode kroz tlo ispod brane. Tako se smanjuje količina iskopa za temeljenje i ukupna kubatura brane. Zato je za gradnju izabrana kamena nasuta brana s tankom glinenom jezgrom u sredini. Alternativna rješenja kamene nasute brane s uzvodnim ekranom od armiranog betona ili asfalta odbačena su, jer su ekonomski bila nepovoljnija, a zahtijevaju stalnu njegu i troškove održavanja, koji otpadaju kod brane s potpuno zaštićenom glinenom jezgrom u sredini.

Na slici 1 vidi se tlocrt i poprečni presjek brane i cijelog postrojenja. Ukupna kubatura brane iznosi 648 000 m³ kamena, 55 000 m³ šljunka i pijeska za filtere i 100 000 m³ gline za jezgru. Predviđeno je još 8 600 m³ betona za kontrolnu galeriju i 25 000 m³ iskopa u stijeni. Nizvodno od brane smještena je strojarnica s dvije turbine od po 12 000 kW, koja će davati 200 GWh energije godišnje. Dovodni tunel smješten je u lijevom obronku, duljina mu je 300 m, a promjer 8,0 m. U desnom obronku smješten je temeljni ispust, koji služi za pražnjenje jezera ispod kote praga na dovodnom tunelu i za otpuštanje vode za natapanje Hrvatačkog polja, dok turbine ne rade.

Glavna svrha akumulacionog jezera je sezonsko reguliranje dotoka Cetine u nizvodnom toku do mora. Time će se znatno ujednačiti proizvodnja hidroenergije na nizvodnim elektranama, Kraljevac, a kasnije na velikoj elektrani Split.

2. Temeljenje brane i glinene jezgre

Na bokovima temeljit će se kameno tijelo brane neposredno na razlomljenoj površini krednih vapnenaca. S površine se skida samo vegetacija i



Legenda:

1 nasip od krupnog kamena
2 filterski prelaz od šljunka i pijeska
3 jezgra od nabijene gline
4 nasip od kamena
5 nasip od glinovitog sitnog kamena
315,0 kota minimalnog vodostaja
360,0 kota maksimalnog vodostaja

Sl 1 — Tlocrt i poprečni presjek brane Peruča

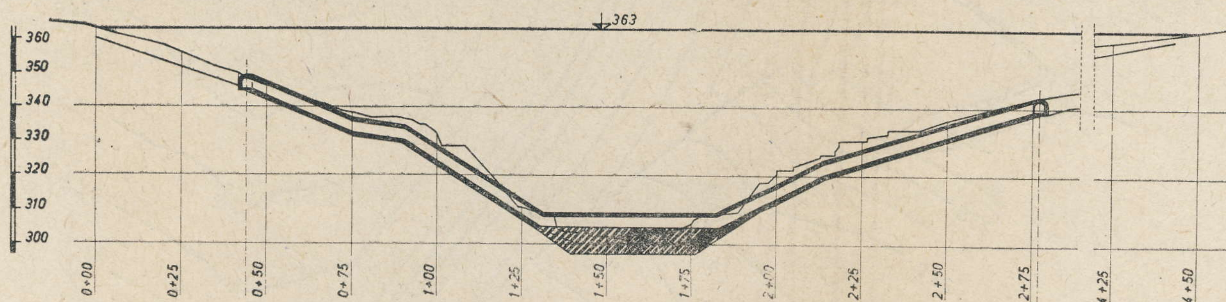
glinoviti materijal iz većih pukotina, kako bi se dobila dobro uklijeištena veza između kamenog nasipa i temeljnog tla. Na lijevoj obali temeljno se tlo mjestimično sastoji od kompaktnog crvenog boksita, koji je nepropustan za vodu i dosta postojan na zraku. Tu će se skinuti površinski potpuno rastrošeni sloj boksita, a nasip temeljiti na dubljim, zdravijim slojevima. Fundiranje, dakle, na cijeloj plohi ispod kamenog nasipa ne predstavlja nikakove teškoće niti velike i skupe radove.

Nešto su drugačije prilike s fundiranjem glinene jezgre. Ona mora biti povezana u tlo, da bi se spriječilo procjeđivanje vode ispod brane. Budući da je tlo do velike dubine mjestimično propusno, nemoguće je jezgru ukopati tako duboko, da bi se time spriječilo propuštanje vode kroz temelje. Zato je predviđena vrlo duboka injekciona zavjesa, koja će zatvoriti sva propusna mjesta u temeljnom tlu do dubine od 150—200 m. Glinena jezgra ukopat će se u tlo samo do dubine, koja je

sipanje tog najosjetljivijeg dijela jezgre potpuno na suhome, bez rizika, s kojim se mora računati, ako se radi pod zaštitom pumpanja. Na tom mjestu potreban je apsolutno garantirani kvalitet ugrađivanja gline, pa je višak troškova za izradu betonskog temelja u Cetini bio opravdan. Za izradu betonskog temelja u Cetini proučene su ove alternative:

1. Uzvodni i nizvodni kameni zagati s jezgrom od bušenih betonskih šipova sistema ICOS ili BENOTO (idejni projekt).
2. Iskop i betoniranje temelja jezgre u vodi bez izrade pomoćnih zagata (glavni projekt).
3. Iskop i betoniranje u vodi pomoću pneumatskih kesona.
4. Uzvodni i pomoćni nasip od kamena i gline, pod čijom zaštitom se rade nutarnji zagati s betonskom jezgrom i fundira na suhome uz crpljenje vode (detaljni projekt).

Sve četiri alternative prikazane su na slici 3.



Sl. 2 — Uzdužni presjek fundiranja jezgre i poprečni presjeci fundiranja

potrebna, da se omogući dobra veza između jezgre i dubinske injekcione zavjese pomoću plitkih dodatnih injekcija ispod kote temeljenja jezgre. Dubina temeljenja odabrana je sa cca 6 m, a mjestimično iznosi i do 11 m, kako se vidi na uzdužnom presjeku u slici 2.

Za izradu injektirane veze između temelja jezgre i dubinske injekcione zavjese predviđena je betonirana injekciona galerija potkovastog oblika visine i širine po 3,0 m.

Time je omogućeno injektiranje veze sa zavjesom bez obzira na program nasipanja brane, čije ispunjenje bi ometalo injektiranje s površine glinene jezgre. Samo na krajevima brane, gdje je visina manja od 15 odnosno 20 m, izostavljena je injekciona galerija, a veza sa zavjesom injektirat će se s površine tokom zimske sezone, kad radovi nasipanja miruju.

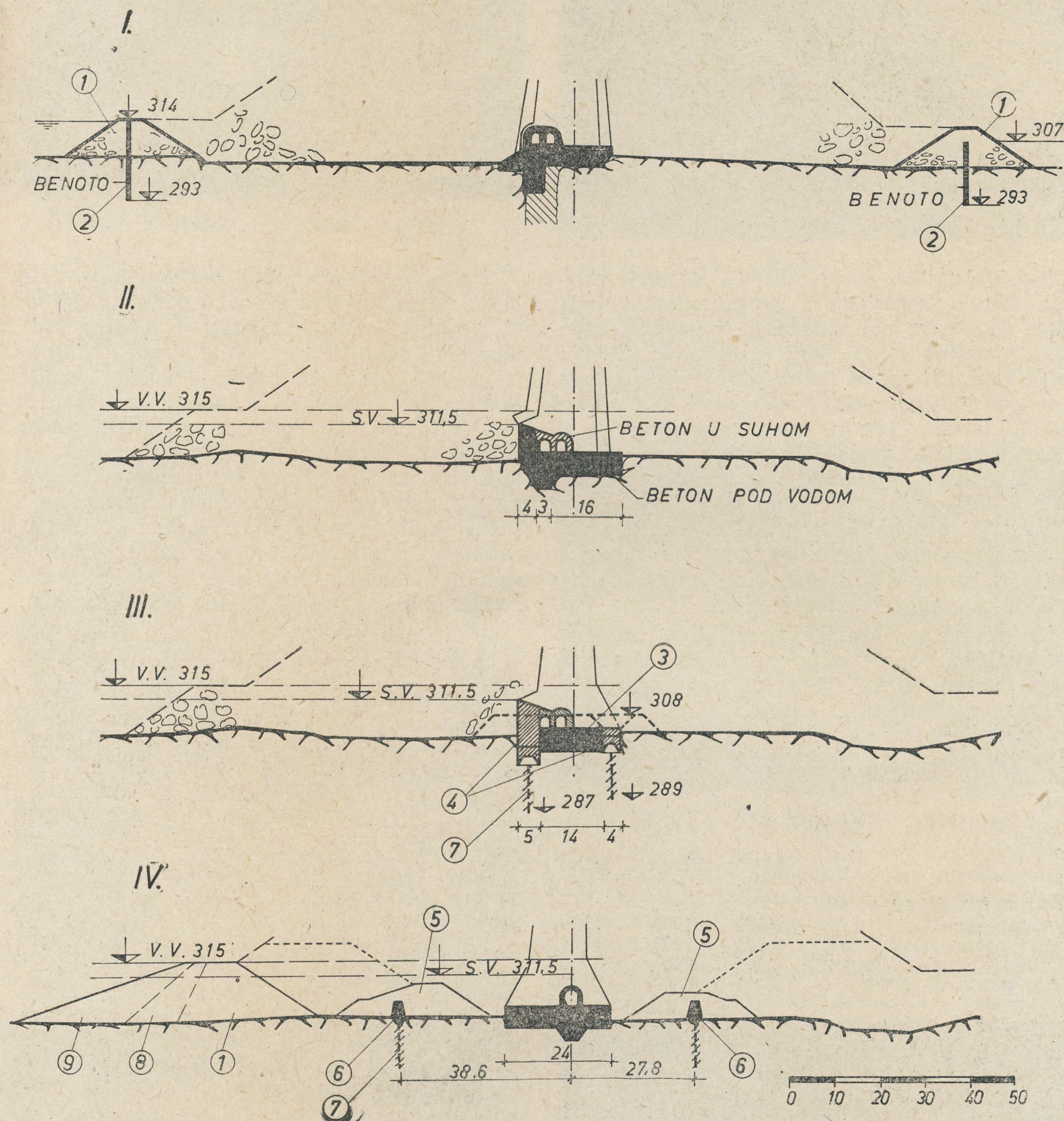
Za fundiranje jezgre u koritu Cetine izrađene su mnoge alternativne studije. Povremena vrela, koja se u području fundiranja brane pojavljuju uz lijevu obalu, opravdavala su bojazan, da bi u koritu bilo teško održati suhu građevnu jamu za nasipanje glinene jezgre. Stoga je već u početku usvojena alternativa temeljenja glinene jezgre na betonskom temelju, koji leži na stijeni u dnu Cetine. Gornja ploha betonskog temelja izdignuta je do kote male vode tako, da bi se osiguralo na-

Prva alternativa napuštena je zbog dugotrajnog rada na izradi zavjese od bušenih betonskih stupova za brtvljenje kamenih nasipa i njihovog spoja s trošnom stijenom. Postojala je također bojazan, da se ne bi moglo iscrpiti vodu iz relativno velike građevne jame uz ekonomičnu pumpnu instalaciju.

Druga je alternativa odabrana u dogovoru s izvođačem, poduzećem Konstruktor iz Splita, da bi se veći dio radova na fundiranju jezgre u Cetini izradilo paralelno s dovodnim tunelom i temeljnim ispustom bez skretanja Cetine iz njenog korita. Tako bi se skratilo vrijeme građenja. Predviđeno je kopanje temelja miniranjem u većim razmjerima pod vodom. Odlomljeni materijal vadio bi se bagerima s obala. Nakon toga bi ronioci očistili tlo do čvrste stijene i postavile bi se oplate za postepeno betoniranje pojedinih blokova temelja počam od obala prema sredini rijeke. Posljednji bi se blokovi betonirali po dovršenju obaju tunela, kada se Cetina može skrenuti iz korita. Tada bi se izradio i prednji viši betonski dio temelja, koji služi za usporavanje Cetine do kote 311,5, koja je dovoljna za osiguranje od prelivanja i kod veće vode. Pod zaštitom tog uzvodnog betonskog dijela temelja može se nasipati glina za jezgru potpuno u suhome.

Nakon detaljnijeg studiranja metode rada izvođač je odustao od tog načina temeljenja zbog nesigurnosti potpunog uspjeha kopanja pod vodom i sumnjivog kvaliteta betoniranja. Tada su proučene daljnje alternative, među prvima fundiranje pomoću kesona, čije je izvođenje također bilo moguće

U cilju smanjenja građevne jame i količine pumpanja na minimum, predviđeni su zagati što bliže samom betonskom temelju. Zagati se sastoje od betonske jezgre ukopane u vapnenačko dno Cetine toliko, da se omogući naknadno brtvljenje ispod jezgre, ako bi kroz temelj zagata prodirale



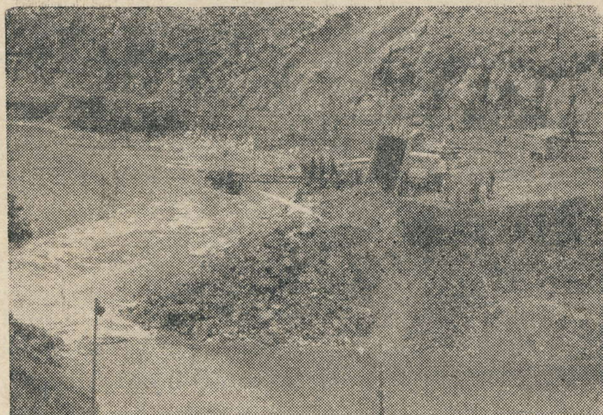
Legenda:

1 kameni nasip u tekućoj vodi
2 nepropusna betonska diafragma (Benoto)
3 beton temelja u suhom (druga faza)
4 kesoni od betona spušteni s nasipa na koti 308 (prva faza)
5 nasip od kamena i gline
6 betonska jezgra (u vodi)
7 injektirana zona
8 prelazni nasip od šljunka (u vodi)
9 nasip od gline (u mirnoj vodi)

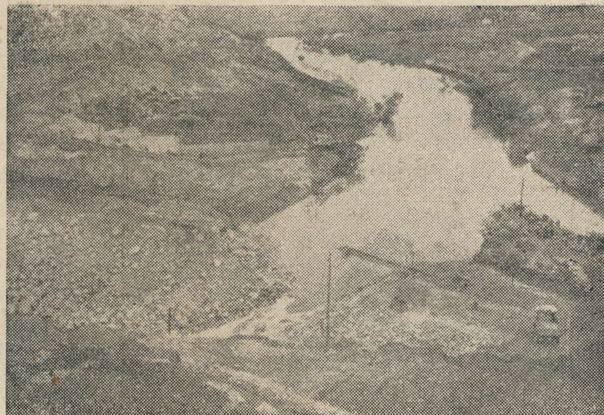
Sl. 3 — Poprečni presjeci alternativa fundiranja jezgre

djelomično prije skretanja Cetine kroz gotove tunele. Ta je alternativa skupa i ne dobiva se mnogo na vremenu, pa je i ona napuštena. Konačno je usvojena posljednja alternativa.

u jamu previše velike količine vode. Time se htjelo svesti na minimum nepoznati riziko mogućeg velikog priliva vode u građevnu jamu kroz propusno temeljno tlo. Uzvodni i nizvodni zagat trebalo je



Sl. 4 — Nasipavanje uzvodnog kamenog nasipa



Sl. 5 — Zatvaranje kamenog nasipa

izraditi djelomično — uz obale — još prije skretanja Cetine, kopanjem i betoniranjem u vodi. Nakon dovršenja tunela izrađuju se uzvodni i nizvodni pomoćni nasipi, koji su sastavni dijelovi tijela brane. Njima se Cetina skreće kroz tunele, pa se preostali dio zagata može izraditi u mirnoj vodi. Za takovo rješenje treba dosta vremena od skretanja Cetine do početka kopanja temelja, ali daje maksimum sigurnosti s obzirom na svladavanje priliva vode u građevnu jamu i nesmetano betoniranje temelja. Kote krune uzvodnog i nizvodnog pomoćnog zagata odabrane su tako, da građevna jama bude osigurana od preplavljivanja i u slučaju stogodišnje velike vode.

Komparativna tabela I pokazuje količine radova i troškove za svaku od proučenih alternativa. Druga alternativa, koje je vremenski i po troškovima najpovoljnija odbačena je iz gore navedenih razloga, u dogovoru s izvođačem, koji je preferirao izvođenje temeljenja na klasični način pomoću zagata.

TABELA I.

	Iskop m^3	Beton m^3	Iznos 10^3 din
Nasuti zagati s jezgrom od betonskih šipova	6 000	6 000	116 500
Iskop i betoniranje u vodi	5 000	4 400	79 100
Fundiranje pomoću kesona	6 000	4 400	103 400
Nasuti pomoćni zagati .	5 200	4 500	80 400

Uzvodni pomoćni nasip postavljen je u tijelo brane i tvori njezinu uzvodnu bankinu. Sastoji se od krupnog kamena, nasutog u tekućoj vodi na nizvodnoj strani. Na uzvodnoj strani nasipa se na taj kamen sitniji materijal — kamen pomiješan sa šljunkom — dobiven iskopom u tunelima, i šljunak iz Cetine. Taj materijal osigurava postepeni filterski prelaz prema uzvodnom nasipu od gline, koji služi za brtvljenje. Taj je nasip izrađen od glinovitog materijala, dobivenog u dijelu dovodnog tunela kod iskopa temelja za branu i čišćenja pozajmišta za jezgru. Nasut je s obala pomoću prekretnih kamiona u hrpe, koje su postepeno buldozerom gurane u vodu i zbijane težinom vozila.

Izvedba u tekućoj vodi vrlo je dobro uspjela. Kad su tuneli bili gotovi, započeto je nasipanje u koritu Cetine s lijeve i desne obale i rijeka je postepeno sužavana, a sve više vode skretano kroz obilazni tunel. Nekoliko fotografija prikazuje nasip i tečenje vode u fazi zatvaranja kamenog nasipa. Kroz zatvoreni kameni nasip protjecala je još dosta velika količina vode. Ta se količina postepeno smanjivala, kako se nasipao prelazni materijal i glina na uzvodnoj strani, dok konačno nije potpuno prestalo. Kad se vidjelo, da kroz taj zagat ne prolazi nimalo vode, odlučeno je, da se pokuša fundirati bez unutrašnjih zagata. Poduzeće je izradilo sličan, ali niži nasip na nizvodnoj strani i postavilo jake pumpe, s kojima je kroz kratko vri-



Sl. 6 — Protjecanje Cetine kroz tunele



Sl. 7 — Gotov uzvodni nasip



Sl. 8 — Ispumpana građevna jama

jeme uspjelo osušiti građevnu jamu. Tada se ustanovilo, da u jamu ne prodiru veće količine vode, pa se crpljenje ograničuje na cca 1500 do 2000 l/min, što je vrlo povoljno. Najveća količina vode prodire kroz tlo ispod uzvodnog pomoćnog nasipa i na nekoliko manjih vrela na uzvodnom dijelu građevne jame.

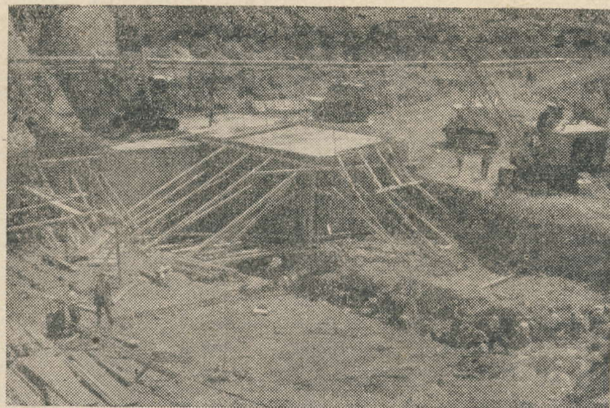
Na osnovu toga stanja odlučeno je, da se ne će izraditi unutrašnji zagati, nego samo betonska jezgra uzvodnog zagata, koja će građevnu jamu za temelj jezgre odijeliti od područja, u kojem se pojavljuju jača vrela. U tom dijelu će se postaviti pumpe, koje crpe vodu iz tako nastalog rezervoara, pa nema opasnosti, da bi kod kratkotrajnih prekida pogona cijela građevna jama — naročito za vrijeme betoniranja — bila preplavljena. Na mjestu iskopa temelja postavit će se manje pumpe za izbacivanje manje količine vode, koja prodire u iskopanu građevnu jamu.

Danas postoje dobri izgledi, da će se u ovoj građevnoj sezoni dovršiti fundiranje u Cetini i nasuti cijela brana barem do kote 315, kod koje je brana osigurana od preplavljivanja. Tip nasutog zagata već je više puta primijenjen kod velikih gradnja na vodi u inozemstvu, ali se kod nas dosada ipak prema njemu nije imalo mnogo povjerenja. Primjer Peruče, gdje je iskustvo s izradom kamenog nasipa s uzvodnim zemljanim nepropusnim dijelom u tekućoj vodi bilo vrlo dobro, pokazuje, da se i pod tim uvjetima može uspješno izraditi nepropusni nasuti zagat. To će iskustvo dobro doći i kod projektiranja i građenja drugih



Sl. 9 — Iskop temelja jezgre

objekata na našim rijekama, jer je, pod inače povoljnim uvjetima, nasuti zagat za skretanje vode i osiguranje suhe građevne jame najjednostavniji i najjeftiniji.



Sl. 10 — Betoniranje temelja jezgre

Gradnju izvodi građevno poduzeće Konstruktor iz Splita za investitora Dalmatinske hidroelektrane u Splitu. Projekt postrojenja izradio je Elektroprojekt u Zagrebu pod rukovodstvom ing. Žugaja i ing. Mladinea, a projekt nasute brane Geoistraživanja iz Zagreba pod rukovodstvom autora. Istražne radove izvela su poduzeća Elektrosond i Geoistraživanja po direktivama grupe geologa.

HIDROENERGETSKI ČVOR »LIKA-GACKA« S OBZIROM NA AKUMULACIJE NA RIJECI LICI

Ing. **A. Stepinac** — Ing. **M. Sever**, Elektroprojekt — Zagreb

Problem iskorišćavanja veoma značajnih vodnih snaga rijeka Like i Gacke, pokrenut je prije gotovo 50 godina, ali do danas nije još postignut neki stvarni uspjeh. Tome neuspjehu ima i objektivnih razloga. Tri puta su poduzimani ozbiljni istraživački radovi, ali su ostali nedovršeni radi ratnog stanja ili su prekidani radi pomanjkanja novčanih sredstava.

Da bi se naši stručni krugovi — naročito mlađi — upoznali s izvanrednim značajem hidroenergetskog čvorišta Like-Gacke, navesti ćemo ukratko kronološkim redom sve napore, koji su učinjeni, da dođe do stvarnog iskorišćenja vodnih snaga ovih dvaju vodotoka.

Prve organizirane i programatski dotjerane hidrološke i morfološke studije proveo je od

1907—1909 poznati stručnjak prof. Karl Terzaghi za račun »Primorskog društva za vodene sile i elektriku«, koje je radilo s francuskim kapitalom. Međutim, prof. Terzaghi se ograničio isključivo na porječje Gacke. Rezultat tog istraživanja i studija bio je projekt za iskorišćenje vodnih snaga Gacke zahvatom kod Gornje Švice, te kanalskim i tunelskim gravitacionim odvodom na more. Hidroelektrana je imala biti kod Sv. Jurja, s instaliranim protokom od svega 7,0 m^3/s.

Već 1908 zatražilo je spomenuto društvo koncesiju za uporabu vode rijeke Gacke, pa mu je ta izdana odlukom tadašnje Županijske oblasti u Gospiću (16 III 1909). Protiv te odluke uložilo je samo društvo utok, jer su vodstvo društva preuzeli novi ljudi pod imenom »Adriatique Éléctricité«. Tražena je tom zgodom promjena trase glavnog dovodnog organa.

Godine 1910 zatražilo je spomenuto društvo po prvi put odgodu početka gradnje i ishodilo ranije zatraženu promjenu trase. Naredne godine zatražena je i po drugi put dobivena odgoda početka gradnje (20 VI 1911).

Godine 1912 zatražilo je društvo promjenu koncesije i predložilo novi projekt za iskorišćenje vodnih snaga Gacke sa $Q_i = 12,0$ m^3/s. Županijska oblast u Gospiću odgovorila je na ovo traženje pozitivno i 6 VIII 1913 pod br. 16678 izdala novu dozvolbenu ispravu, a dokinula onu iz 1911 godine.

U međuvremenu je studirao problematiku Like i Gacke austrijski inženjer Theodor Schenkl i dao prvu idejnu osnovu za zajedničko iskorišćavanje vodnih snaga Like i Gacke, koju je i objelodanio u knjizi »Karstgebiete und ihre Wasserkräfte« (Wien—Leipzig 1912).

Društvo Adriatique Éléctricité nije bilo zadovoljno ni sa dozvolbenom ispravom od 6 VIII 1913, pa je putem Županijske oblasti u Gospiću uložilo žalbu na tadanju Kr. hrvatsku zemaljsku vladu u Zagrebu (15 IV 1914, br. XIII-1152/2) i podnijelo posebnu molbu za nove preinake (29 V 1914, br. XIV-1142).

Bivša Kr. hrvatska zemaljska vlada pomno je proučila razvoj događaja od 1907—1914 i uvidjela, da je gotovo nemoguće rješavati parcijalno energetski čvor Like i Gacke s odvojenim postrojenjima, a tu namjeru je imalo upravo društvo Adriatique Éléctricité.

Tehničku i financijsku analizu o nerentabilnosti parcijalnog energetskog rješavanja čvora Lika-Gacka izradio je god. 1914 pok. ing. August Pisačić. Na temelju njegove — za ondašnje prilike — vrlo solidne analize, bivša Kr. hrvatska zemaljska vlada u Zagrebu, stavila je van snage dozvolbenu ispravu, izdanu od Županijske oblasti u Gospiću, i dokinula cio postupak s motivacijom »po zemlju štetan«.

Istovremeno je Vlada zadužila svoj vodograđevni odsjek u Zagrebu, da pristupi za njezin račun istražnim radovima i sastavu projekta za jedinstveno iskorišćenje vodnih snaga Like i Gacke. Vodograđevni odsjek osnovao je posebnu sekciju za provedbu tog zadatka, a nadzor nad radovima povjeren je Ing. Rajmondu Fantoniju iz Zagreba.

Velika važnost ovog projekta bila je uzrokom, da je 10 IV 1918 izdan posebni zakon, kojim je bila ovlaštena jedino Kr. hrvatska zemaljska vlada u Zagrebu, da smije iskoristiti vodne snage Like i Gacke za proizvodnju električne energije.

Iz dosadašnjih podataka se vidi, da uopće nije postojao jedinstveni projekt za iskorišćenje vodnih snaga Like i Gacke, izrađen od društva »Adriatique Éléctricité«. Kad bi takav projekt postojao, sigurno bi Županijska oblast u Gospiću izdala dozvolbenu ispravu za zajedničko iskorišćenje vodnih snaga.

Spomenuto društvo nije imalo nikakav naročito obrađen i dokumentiran plan razvoja konsumnih potreba na električnoj energiji, pa se oslonilo na postojeće potrebe, koje su garantirale brzu amortizaciju uloženog kapitala, a za to im je bilo dovoljno da težište prebace na Gacku.

Svakako je mnogo interesantniji elaborat što ga je izradila sekcija vladinog vodograđevnog otsjeka. Ta je sekcija u vremenu od 1915—1922 provela niz istražnih radova i geodetskih snimanja (po dokumentima opet najviše u slivu Gacke), pa je utvrdila srednji godišnji protok Gacke sa 12,0 m^3/s, a onaj Like sa 15,0 m^3/s (preko 100% premalo).

Na temelju tadašnjih istražnih radova i snimanja došlo se do ovog rješenja: Instalirani protok imao je biti 26,0 m^3/s (Lika 14,0 m^3/s i Gacka 12,0 m^3/s). Glavni objekti u dolini Gacke sastojali su se od brane na odvojku Gacke od Vivoza prema Briogu, tako da se sve vode dirigiraju prema Gornjem Švičkom jezeru, na kojemu je zanvat vode na koti 447, te kanalski i tunelski odvod prema spojnom kanalu sa vodama Like, i onda zajednički odvod prema moru.

Na Lici, povrh Mlakve, predviđena je dolinska pregrada s krunom na koti 550, čime bi se ostvario prostrani akumulacioni basen (oko 100 hm^3). Predviđena je izgradnja i pribranske elektrane, u kojoj bi se preradila akumulirana voda, a zatim postojećim koritom vodila do usporne brane u koritu Like kod sela Otoka. Od ovog hvatišta vodila bi se voda što otvorenim kanalom, što tunelom, gravitacijom do vodne komore povrh Donjeg Švičkog jezera i preradila u lokalnoj elektrani na padu od 22 m, čime bi se dobila snaga od 3 400 KS.

Donje Švičko jezero imalo bi služiti opet kao akumulaciono spremište. Voda iz tog spremišta ubacivala bi se crpkama u zajednički kanal Like i Gacke. Od elektrane Švica odvodile bi se zajedničke vode putem kanala i tunela ukupne duljine 23,5 km gravitacionim putem do vodne komore kod Zaglavka (kota 422). Pretpostavljalo se, da bi se tu u otvorenoj vodnoj komori polučilo spremište za 500 000 m^3 vode. Odatle do mora iskoristio bi se brutto pad od 417 m sa $Q_i = 26,0$ m^3/s, pa bi se postigla snaga od 120 000 KS = 88 000 kW. Proticajni profil velebitskog tunela uz pad od 1‰ i srednju brzinu od 2,5 m/s izračunat je na 11,0

m³, dok bi spojni tunel Lika—Gacka uz pad od 1‰ imao čisti profil 8,0 m² a proticajni 6,0 m² za Q_i = 14,0 m³/s.

Godine 1922 prestaje za dulji niz godina svaka aktivnost na Lici i Gackoj. I onako skromna hidrološka mreža se zapušta, a ne vrše se nikakva istraživanja i ispitivanja. Elaborat za iskorišćenje vodnih snaga Like i Gacke, sastavljen od spomenute sekcije, s vremenom je izgubljen.

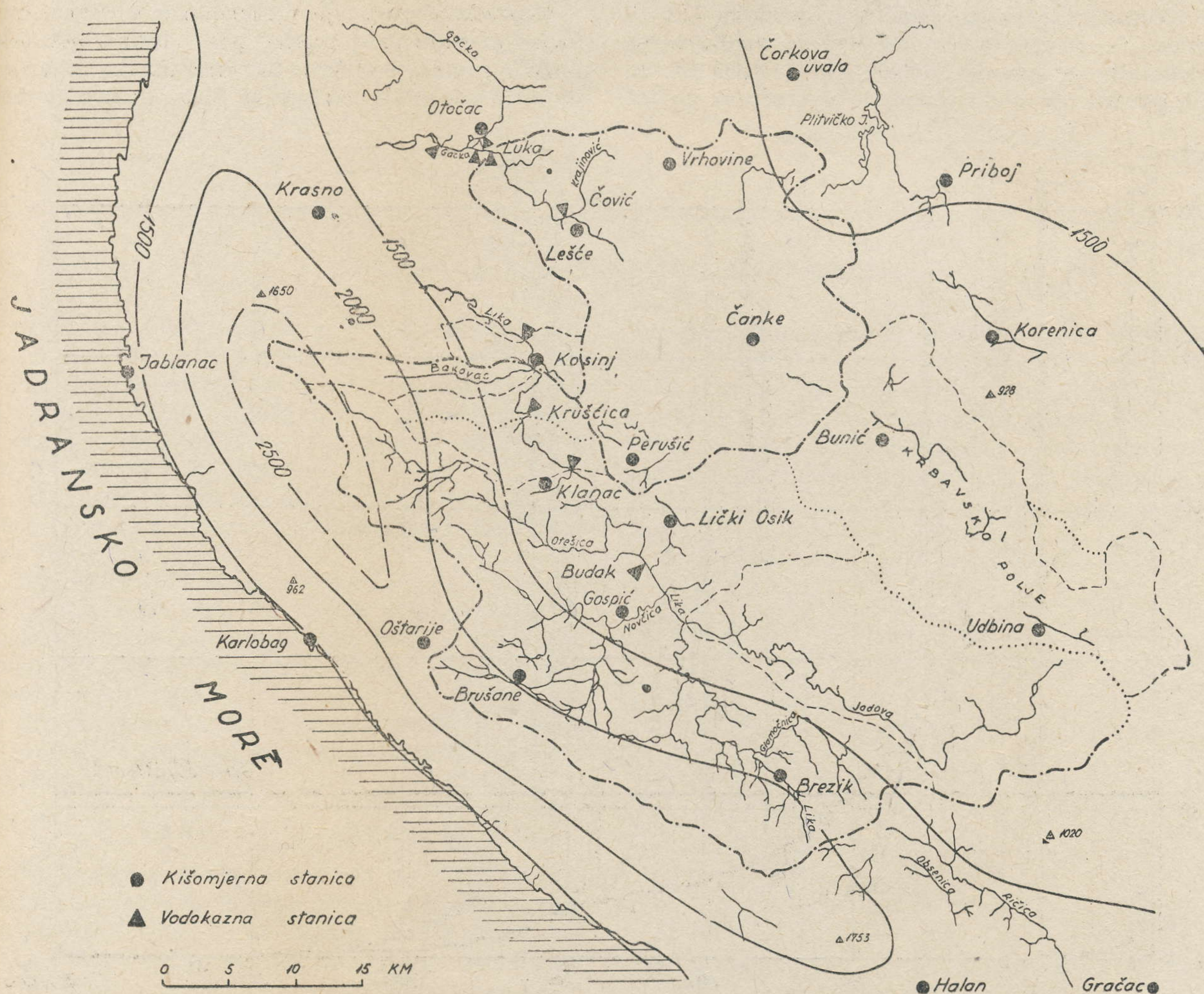
Pitanje snabdijevanja zagrebačkog basena električnom energijom postaje iz godine u godinu sve akutnije, i u godini 1936 ing. August Pisačić ponovno pokreće pitanje vodnih snaga Like i Gacke.

Godine 1937 zainteresirao se za taj problem Odbor za elektrifikaciju bivše Savske banovine, iz kojeg je kasnije nastalo Banovinsko električno poduzeće. To je poduzeće putem vodnih snaga Like i Gacke imalo namjeru da stvori bazu za »elektrifikaciju hrvatskih krajeva«. Rijeka Lika je označena kao težište problema, pa su već u drugoj polovici 1937 izvršena izvjesna geodetska snimanja te hidrološka i hidrografska istraživanja. Ti radovi nisu doveli do novih bitnih rezultata, no pokazali su, da je problem Like i Gacke u hidrološkom i geomorfološkom pogledu relativno težak, te da je njegovo ispravno i racionalno rješenje ostvarivo na osnovu dobro zasnovanih i stručno provedenih predradnja, za koje su potrebna znatna materijalna sredstva. Ta sredstva Banovinsko električno poduzeće nije moglo namaknuti, pa je god. 1938 napustilo ideju, da Lika i Gacka budu »baza elektrifikacije hrvatskih krajeva«, i oslonilo se na hidroelektranu Vinodol kao tehnički jednostavniju. To poduzeće nije ni najmanje imalo namjeru napustiti Liku i Gacku, već je samo htjelo dobiti na vremenu za ovaj zamašni podhvat.

Godine 1941 povjerilo je njemačko poduzeće »Hansa-Leichtmetall A. G.« profesoru A. Ludinu, da izradi stručno mišljenje o iskorišćenju voda Like i Gacke. Prof. Ludin boravio je jedno vrijeme i na terenu, pa je u svom izvještaju zadržao koncepciju Ing. Theodora Schenkla.

Krajem 1941 i početkom 1942 godine zainteresirao se i talijanski kapital za ovaj problem, ali je u međuvremenu izdana koncesija bivšem Državnom električnom poduzeću Hrvatske. Ta je koncesija god. 1943 utrnula, jer poduzeće nije zbog ratnih prilika moglo da za sastav projekta izvrši potrebne terenske predradnje.

Koncepcija rješenja Banovinskog električnog poduzeća bila je gotovo ista kao i koncepcija sekcije vodograđevnog otsjeka, samo što je za insta-



Sl. 1 — Sliv Like i Gacke

lirani protok usvojena količina od 40 m³/s, jer je dokazano, da srednji godišnji protok Like iznosi 30 m³/s (vrlo blizu stvarnom stanju), a Gacke 12,4 m³/s. Za instalirani protok uzeta je 7-mjesečna voda Like (27,0 m³/s) i 6-mjesečna voda Gacke (13,0 m³/s).

Uporabno vrijeme ocijenjeno je sa 4 000 sati godišnje, odnosno snaga postrojenja 230 000 kW (310 000 KS). Srednja snaga postrojenja utvrđena je na 105 000 kW, a srednja godišnja produkcija na 920 000 000 kWh. Od te količine otpada ²/₃ na zimsku i ¹/₃ na ljetnu energiju.

Poslije II svjetskog rata, godine 1945, pristupilo se obnovi hidrološke i meteorološke mreže, više po službenoj dužnosti, nego iz namjera da se ponovno pristupi rješavanju ovog problema. Ipak, god. 1953 ponovno iskrsava problem Like i Gacke, pa mu se pristupa na bazi najnovijih hidroloških i geoloških istraživanja i geodetskih snimanja.

Najnovije rješenje hidroenergetskog čvora Like i Gacke predviđa također zajedničko korišćenje vodnih snaga Like i Gacke. Voda Like odvodila bi se od Lipova polja prema Gackoj kod Gornjeg Švičkog jezera, uz prethodno izravnanje izgradnjom akumulacionih basena. Odavde bi se voda Like i Gacke koristila zajednički na padu prema moru. Instalirani protok iznosio bi 70 m³/s, t. j. cca 1,6 ukupnog srednjeg godišnjeg protoka Like i Gacke. Na brutto padu od 440 m dobila bi se maksimalna snaga od 240 000 kW i 1 200 000 000 kWh produkcije elekt. energije u srednjoj godini.

1. Hidrologija i hidrografija sliva Like i Gacke

a) Sliv

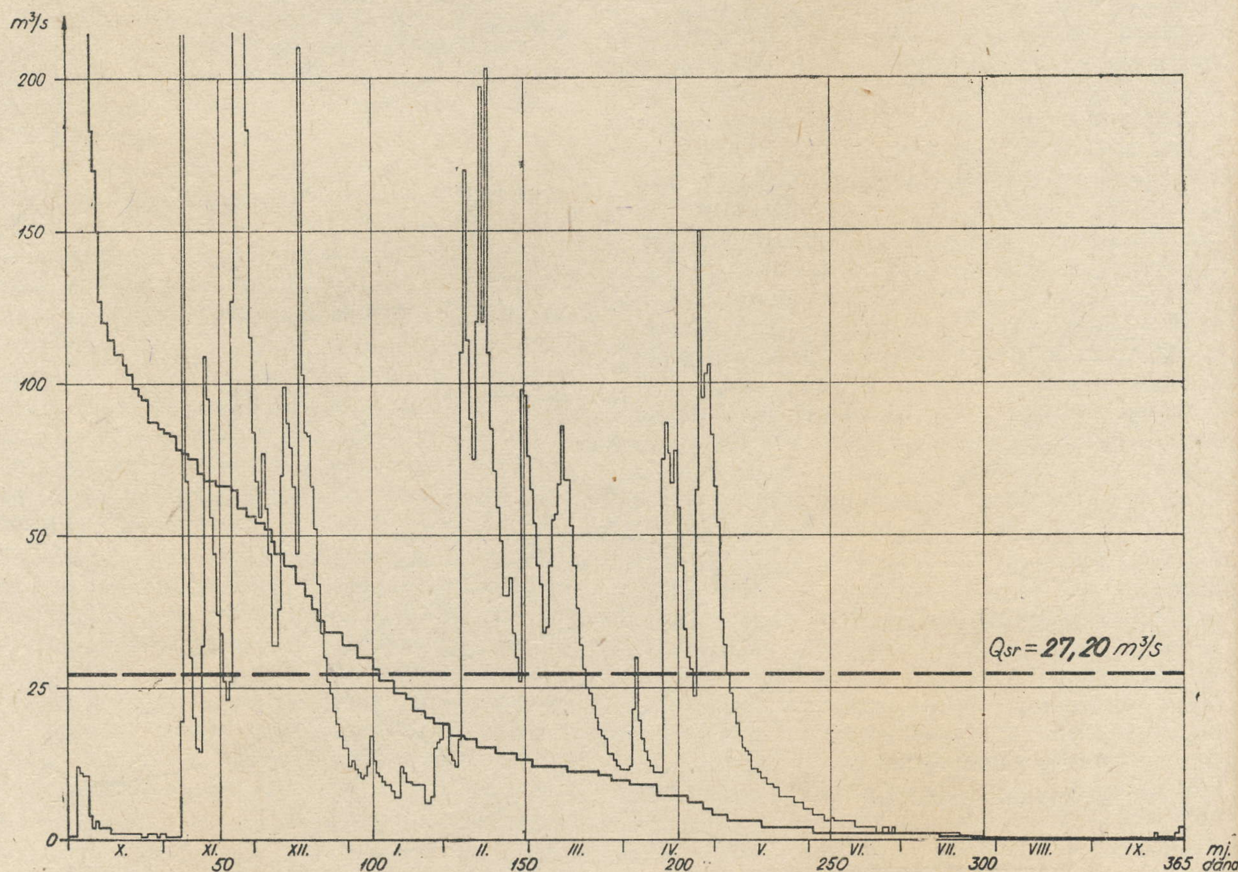
Za utvrđivanje vodne izdašnosti treba na Lici promatrati najmanje 2 ključne točke (Krušćica, Kosinj), a na Gackoj barem jednu (Luka). Površina sliva Like utvrđena je do Krušćice sa 1 080 km², a do Kosinja sa 1 200 km², a površina sliva Gacke do Luke sa 540 km².

Dobivene vrijednosti nisu posve točne, jer se hidrološka razvodnica s obzirom na Krš ne može podudarati s topografskom. Kod Like je ipak odabrana razvodnica mnogo realnije nego kod Gacke, i to s razloga, što je velebitska strana s obzirom na geološki sastav sasvim sigurna — jedino je problematična sjeverna i sjeveroistočna strana. Gacka na čitavom svom utjecajnom području nema topografske razvodnice, pa je površina od 540 km² dobivena dobrim dijelom kao ostatak kod razgraničenja susjednih slivova (Kupa, Korana, Krbavsko polje, Lika). Po analizi protoka ova slivna površina dobro odgovara.

Prema tome, ukupno mjerodavno slivno područje Like i Gacke (Kosinj + Luke) iznosi 1 740 km².

b) Oborine

Najobilnije područje s oborinama u slivu Like-Gacke je velebitski masiv, gdje srednje godišnje oborine prelaze i preko 4 000 mm (Baške Oštarije), što je od naročitog značaja za Liku. U ravničarsko-



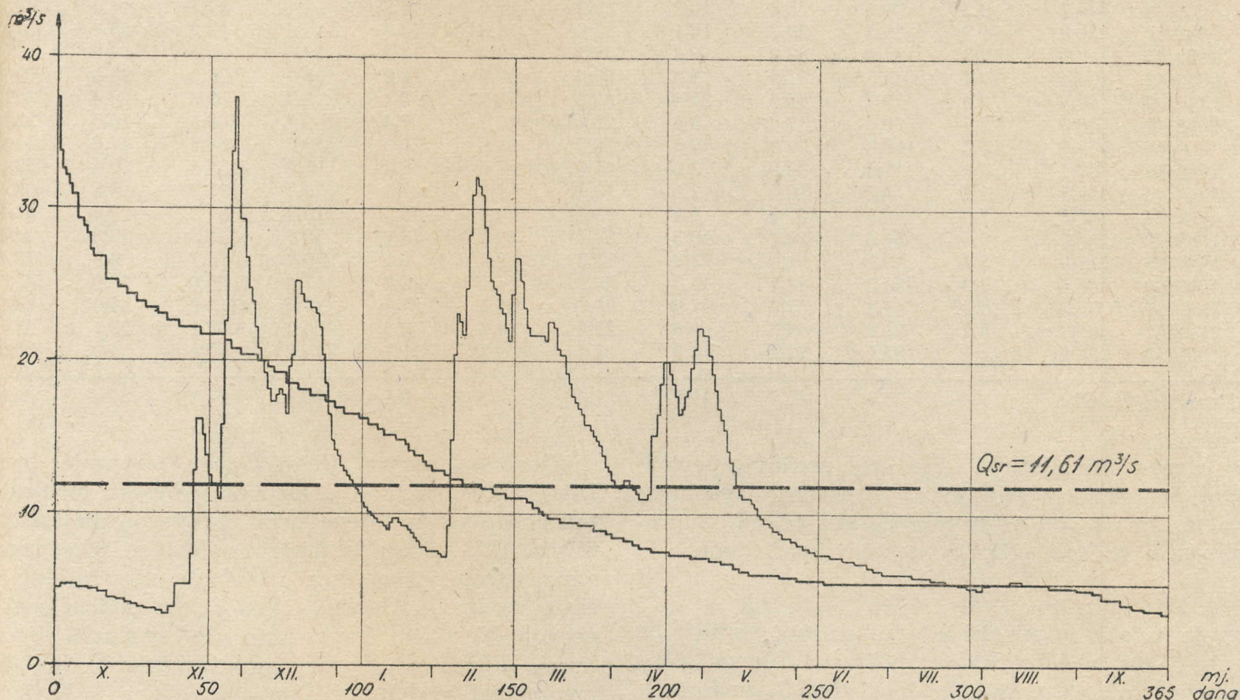
Sl. 2 — Oscilacije protoka Like kod Krušćice u 1949/50 godini

humovitom području Like godišnje visine oborina su niže, ali i tu dosižu u pojedinim godinama preko 2 000 mm. Centralna kišomjerna stanica ovog područja je Gospić, gdje 50-godišnji prosjek oborina iznosi 1 706 mm. Najmanje oborina ima dolina Gacke, sa srednjim periodskim prosjekom ispod 1 440 mm, dok humovita visoravan, koja napaja glavna vrela Gacke, ima prosjek oborina oko 1 550 mm.

U periodu od 14 godina (1935/6—1952/3, izuzev 3 ratne godine) čitav sliv Like-Gacke ima srednju visinu oborine 1 440 mm, dok sam Gospić u tom

Tu su oscilacije ograničene na amplituđe od jedva 2 m, ali je trajanje visokih vodnih valova dugo. S druge strane, minimalni protoci na Lici padaju skoro na nulu, dok maksimalni mogu dosegnuti 900 m^3/s (100-godišnja voda). Minimalni protoci Gacke na izvorištu ne padaju redovito ispod 4,0 m^3/s (iznimno 3,0 m^3/s), dok visoki protoci ne presižu 100 m^3/s. Odatle slijedi velika plemenitost voda rijeke Gacke, a gotovo bujični karakter Like.

Što se tiče lebdećeg nanosa, Gacka je gotovo negativna, a Lika obiluje znatnim količinama.



Sl. 3 — Oscilacije protoka Gacke kod Luke u 1949/50 godini

periodu ima 1 300 mm. Dugogodišnji prosjek Gospića je 1 706 mm, odakle slijedi, da je srednja visina oborine cijelog sliva ispod pravog prosjeka. Ako visine oborina cijelog sliva i Gospića stavimo u razmjer, onda bi 50-godišnji prosjek oborina za cio sliv morao biti 1 890 mm.

Ako promotrimo ne cio sliv Like i Gacke, već samo Like za hidrološku godinu 1946/7, dobivamo ovu sliku:

Srednja visina oborine sliva Like je 1 618 mm a Gospića 1 440 mm. Gospić je daleko ispod 50-godišnjeg prosjeka, prema tome je i cio sliv ispod 50-godišnjeg prosjeka, jer je Gospić redovito niži nego prosjek u slivu.

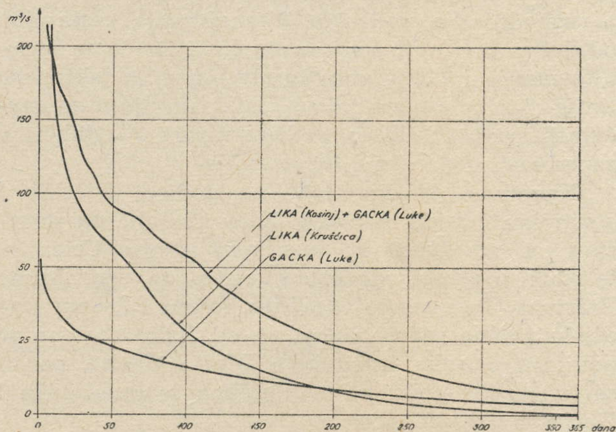
Prosjek oborina sliva Like i Gacke je veoma obilan, a to upućuje na visok prosjek srednjih godišnjih protoka.

c) Vodostaji i protoci

Što se tiče oscilacije vodostaja, na Lici i Gackoj vladaju suprotnosti, koje se očituju u veoma brzom nastupanju i odstupanju visokih vodnih valova na Lici s vrlo velikim amplitudama, dok je kod Gacke posve obratan slučaj.

Vučenog nanosa imaju obje rijeke u neznatnim količinama.

U slici 2 prikazane su oscilacije protoka Like, a u slici 3 linije trajanja protoka Gacke u hidrološkoj godini 1949/50, koja je relativno blizu srednjem periodskom protoku iz 18 godina.



Sl. 4 — Linije trajanja protoka Like i Gacke za period 1935/6—1952/3

Srednji godišnji protoci Like u promatranom periodu od 18 godina variraju od 10,2—50,6 m^3/s, a protoci Gacke od 8,0—19,0 m^3/s. Prikaz tih protoka zajedno sa srednjim zimskim i srednjim ljetnim prikazan je u narednoj tablici.

Dna krških polja pokrivena su kvartarnim n slagama, kao posljedica naplavina rijeke Lik Te se naplavine sastoje od muljevite ilovine s ul šcima riječnog šljunka, mjestimično izmiješan s crvenicom. Te naslage pripadaju diluviju.

Tablica srednjih zimskih, ljetnih i godišnjih protoka LIKE i GACKE za period 1935/36 do 1952/53

Hidrološka	Lika - Kruščica			Lika - Kosinj			Gacka - Luke			Lika-Kosinj + Gacka-Lu		
godina	SQ_z	SQ_1	SQ	SQ_z	SQ_1	SQ	SQ_z	SQ_1	SQ	SQ_z	SQ_1	SQ
1935/36	60,1	6,2	33,1	66,7	6,9	36,8	16,8	6,7	11,8	83,5	13,7	48,6
1936/37	43,4	17,9	30,6	48.2	19,8	34,0	11,6	12,0	11,8	59,8	31,8	45,8
1937/38	59,2	9,3	34,3	65,8	10,3	38.0	17,6	7,2	12,4	83,4	17,5	50,5
1938/39	30,3	16,3	25,3	33,6	18.1	25,8	11,6	10,3	10,9	45,2	28,4	36,8
1939/40	47,8	17,8	32,8	53,0	19,7	36,4	13,5	13,8	13,6	66,5	33,6	50,0
1940/41	73,4	17,7	45,5	81,5	19,6	50,6	26,8	11,2	19,0	108.3	30,8	69,6
1941/42	40,9	18,4	29.7	45,5	20,4	32,9	18.3	8,1	13,2	63,8	28,4	46,1
1942/43	33.9	7,7	20,8	37,6	8,6	25,1	10,8	7,4	9,1	48,4	16,0	32,2
1943/44	19,7	15,8	17,8	21,9	17,5	19.7	14,8	10,3	12,5	36,7	27,8	32,2
1944/45	80,1	1,9	41.0	88,9	2,1	45,5	17,5	8,3	12,9	106,4	10,4	58,4
1945/46	17,1	1,2	9,2	19,0	1,3	10,1	14,0	7,5	10,7	33,0	8,8	20,9
1946/47	60,3	5,5	32,9	67,0	6,1	36,5	18,3	9,5	13,9	85.3	15,5	50.4
1947/48	34,3	9,3	21.8	38,1	10,3	24.2	10.8	10,6	10,7	48,9	20,8	34,8
1948/49	17.9	3,4	10,7	19,8	3,8	11,8	9,8	6,1	10,0	29,7	9,9	19,8
1949/50	43,6	10,9	27,2	48,3	12,1	30,2	14,7	8,6	11,6	63,0	20,6	41,8
1950/51	75,0	15,3	45,2	83,3	17.0	50,1	26,9	7,1	17,0	110.2	24,0	67,1
1951/52	39,2	3,2	21,2	43,6	3,6	23,6	19,5	8,5	14,0	63,1	12,1	37,6
1952/53	51,5	12,4	32,0	57,2	13,8	35,5	22,2	11,1	16,7	79,4	24.9	52,2
Prosjek	46,3	10,6	28,3	47,7	11,7	31,4	16,4	9,1	12,8	64,1	20,8	44,2

Iz površine sliva od 1 740 km^2, srednjeg periodskog protoka od 44,2 m^3/s, te srednje apsolutne visine oborina od 1 440 mm za period od 18 promatranih godina, slijedi otjecajni koeficijent

$$\mu = 0,555$$

On je relativno nizak, ali treba napomenuti, da je već kod računa konsumpcione linije za Liku svijesno računato na niže kod visokih vodostaja, zbog još nedovoljnih podataka. S druge strane, i veličina sliva može biti nešto prevelika. Prema tome, dobivene vrijednosti srednjih godišnjih protoka su u granicama oprezne sigurnosti.

2. Geološki sastav područja

Temeljni geološki sastav područja Like predstavljaju (prema prof. Poljaku) gromadaste svijetlo-smeđe vapnenačke breče donje krede. Jedino je zapadni dio područja Lipova polja sastavljen od dobro uslojenih vapnenaca jure. Breče su općenito manje razlomljene, izuzev pojas uz tektonske linije. S obzirom na takav sastav, javljaju se značajniji ponori Like u području jure — dakle, u zapadnom području Lipova polja.

Navedene stijene leže na podlozi triaskih i gornjokarbonskih naslaga, koje izbijaju na površinu uz rub Gospićke visoravni prema Velebitu, te duž njegova sjevernog ruba do iza doline Bakovca. Te naslage zagaćuju dolinu Like na tom dijelu prema moru. Sjeverno od Bakovca, one se povijaju duboko ispod kote Like i Gacke, pa su se tu razvili krški putevi, kojima se gube Lika i Gacka u pravcu mora.

Kod Vratnika, u pozadini Senja, naslage triasa i gornjeg karbona uzdižu se opet na površinu.

Geološki sastav rijeke Gacke sličan je ono Like, ali jednostavniji. Glavne geološke formaci tog područja su stijene jure i krede, te djelomičn triasa. Uže područje Gacke nalazi se u vapne cima gornje jure, koji su dosta razlomljeni. širem području Gacke, t. j. u dijelu područja sje vernog Velebita, kroz koje će prolaziti tlačn tunel, dolaze uz gornje jurske vapnence takođe i vapnenci te dolomiti liasa.

Kvartarne naslage riječnih dolina sastoje s od glina, ilovina, crvenice i sedre.

U morfološkom su pogledu, područja, kojim protiču Lika i Gacka, bitno različita. Lika teč područjem, koje je tektonskom predispozicijo urezano u kršku vapnenačku ličku zaravan, dok j korito Gacke urezano u dno krških polja (Gack Gusić, Kompolje i Vlaško polje).

3. Problem akumulacija na rijeci Lici

Bujični karakter Like s oscilacijama u protok od 0,03 m^3/sec. do 900 m^3/sec. (100-godišnja vod nameće pitanje izgradnje akumulacije za sezonsk izravnanje. Topografske mogućnosti za ostvaren takve akumulacije postoje u srednjem i donje toku Like, t. j. u području Kruščice, Bakovca Lipova polja.

Te akumulacije ležale bi, međutim, u vapne načkim stijenama, koje same po sebi zahtijeva oprezno prilaženje tom problemu i upoznavan hidrogeoloških odnosa područja opsežnim istr žnim radovima. Zbog toga se na tom područ pristupilo istražnim radovima, koji su se sastoja od geološkog rekognosciranja, dubinskog istražno bušenja, te hidrogeološke interpretacije geološk

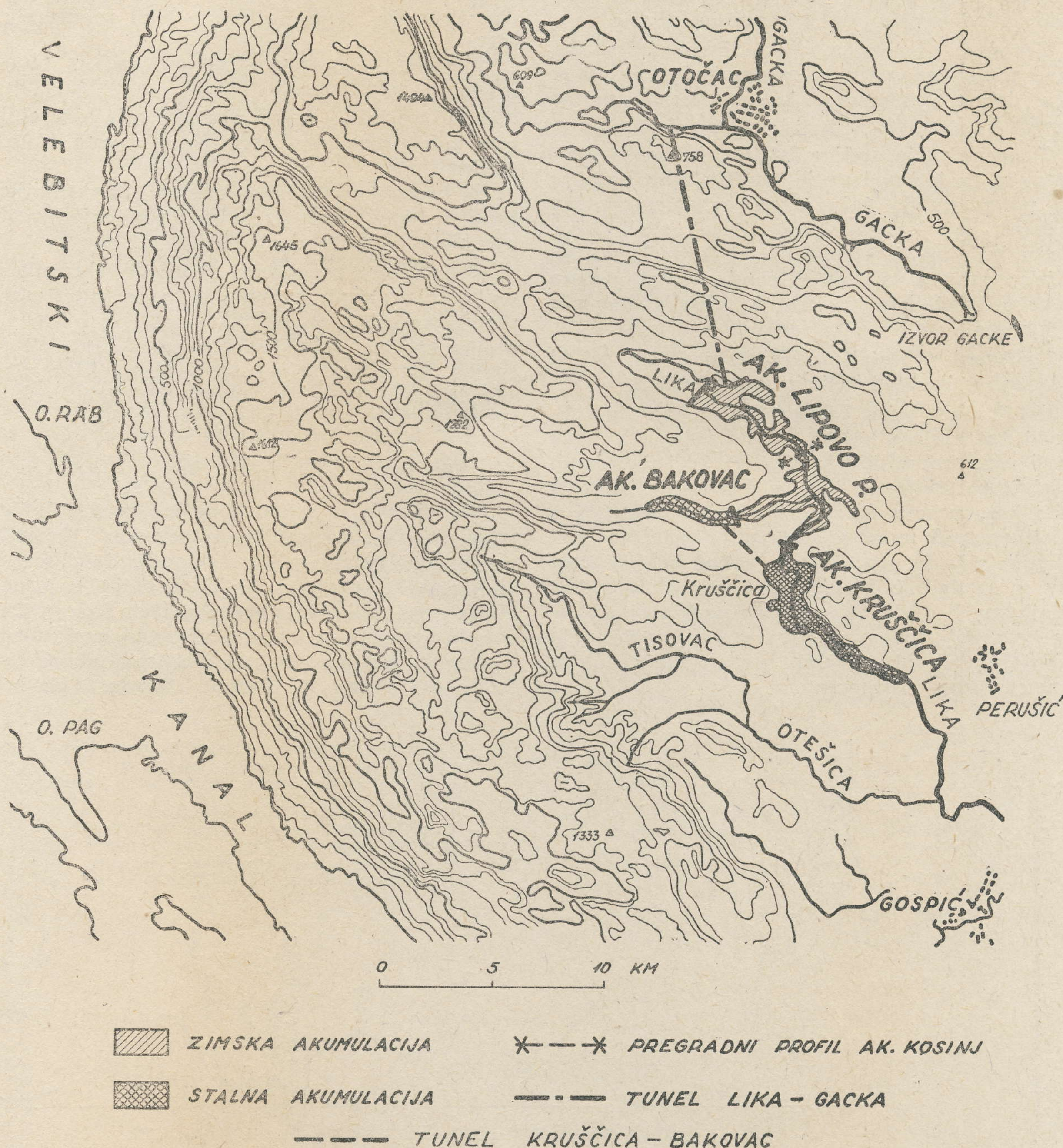
podloga i hidroloških pojava; vrela, estavela, ponora i podzemnih vodostaja, opažanih u izvedenim bušotinama tijekom dužeg perioda.

Ta su istraživanja dala povoljne rezultate s obzirom na izgradnju ovih akumulacija.

Akumulacija u području Krušćice

Basen Krušćice je najuzvodniji veći basen u dolini Like. Usporenjem rijeke Like do kote 554 m n. m., t. j. cca 70 m, dobila bi se akumulacija korisnog sadržaja 97 hm³. Usporna kota ograničena je položajem obradivih površina na visoravni kod Gospića.

Područje akumulacije položeno je u konglomeratima donje krede. Te su naslage sastavljene od fragmenata vapnenca, povezanih vapnenačkim vezivom sa dosta ilovine. Mjestimično se kroz njih provlače interkalacije laporovitih škriljevaca. Teren, koji je izgrađen od konglomerata, ispresijecan je tektonskim lomovima i pukotinama, oko kojih su se razvile izrazite krške forme, vrtače i škrape. Zapaženo je nekoliko lomnih zona, zahvaćenih jačom karstifikacijom, koje bi mogle predstavljati puteve za gubljenje vode iz akumulacije. Jedan dio kotline Krušćice prekriven je diluvijalnim naplavinama, najvećim dijelom ilovinama.



Slika 5

U koritu Like unutar ovog područja nema ni ponora ni estavela, dok naprotiv vrela ima u većem broju. Vrela, koja su niže položena, trajnija su i izdašnija, dok su više položena povremena, pa rade obično duže ili kraće vrijeme nakon oborina.

Istražnim bušenjima obuhvaćeno je šire područje ovog basena, t. j. područje brane i gore navedenih zona s jačom karstifikacijom, sa svrhom, da se ocijeni mogućnost izvedbe akumulacije i red veličine potrebnih tehničkih mjera. Bušenja u području pregradnog mjesta pokazuju, da vodopropusnost vrlo varira, tako da dosiže i par desetaka l/min, ali s dubinom opada, pa je osnovna podloga nepropusna. Ovu nepropusnost osnovne podloge potvrđuje svojim postojanjem i malo trajno cijedno vrelo kod pregradnog profila.

Uzvodno, na lijevom boku basena Krušćica, iznad predviđenog uspora akumulacije, nalazi se suha dolina Antinovica, koja pokazuje znatnu površinsku karstifikaciju.

To je područje uzeto u ispitivanje, jer se pretpostavilo, da je i podzemlje karstificirano, pa bi se tim putem gubila voda u pravcu doline potoka Bakovca, koji leži paralelno lijevoj obali Like. Iz niza bušotina, izvedenih na toj lokaciji, vidi se, da je propusnost za vodu stijene ispod kote uspora na svim bušotinama malena, uz mjestimično jača odstupanja.

Podzemni vodostaji u bušotinama viši su od vodostaja u koritu i rastu prema pozadini.

Na desnom boku basena obuhvaćene su tektonski zdrobljene zone, koje pokazuju jaču površinsku karstifikaciju. Velik broj izvedenih bušotina pokazuje, da je i tu propusnost za vodu ispod kote uspora malena. Podzemni vodostaji u bušotinama viši su od vodostaja u rijeci Lici i kod najvećih suša za cca 10-40 m, a kod velikih voda dižu se za daljnih 20—30, pa i više metara. Niz stalnih malih vrela nizvodno i uzvodno sela Mlakve potvrđuju, da s ove strane nema podzemnih vodostaja nižih od vodostaja u rijeci Lici; podloga je prema tome nepropusna.

Na osnovu ovoga možemo zaključiti, da je u basenu Krušćica razvijena plitka karstifikacija, koja praktički ne seže dublje od dna Like, a da prosječna propusnost za vodu nije velika, tako da na udaljenijim bušotinama već lokalne duže oborine povisuju podzemni vodostaj do iznad kote predviđenog uspora.

Podloga basena Krušćica je nepropusna, što potvrđuje i činjenica, da u području basena i nekoliko kilometara uzvodno nema nikakvih ponora. Osim toga, tok Like je na tom dijelu zagaćen prema moru nepropusnim naslagama; noričkim dolomitom i starijim laporovitim naslagama trijasa i permokarbona. Nepropusnost ove barijere dokazana je i bojenjem voda visokog krškog platoa oko Pazarišta, koje podzemno teku prema rijeci Lici.

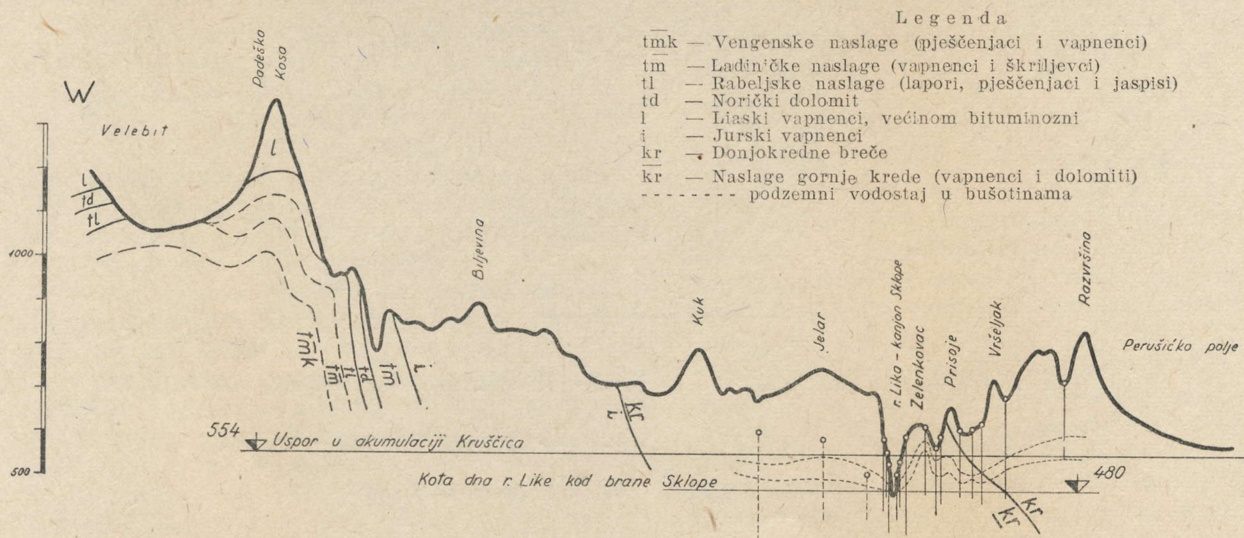
Podzemni vodostaji rastu općenito od basena prema pozadini bokova, osim nekih anomalija, koje su posljedice krških drenova u jače zdrobljenim pojasevima, oko pregradnog mjesta i Antinovice.

Ti drenovi moći će se zabrtviti injektiranjem, kojeg troškovi ne mogu dovesti u pitanje izvedbu ove akumulacije i njenu ekonomičnost.

Eventualne procjedne vode iz akumulacije preko injektiranih puteva, mogu se gubiti samo prema vrelima u dolini Bakovac s lijeve strane, a prema vrelima kod sela Mlakve s desne strane. Prema tome, vraćat će se u rijeku Liku prije odvođenja u Gacku, pa ne će biti izgubljene za HE Senj.

Akumulacija na Lipovu polju

Na nizvodnom dijelu ovog zatvorenog krškog polja gubi se rijeka Lika u ponorima. Kapacitet ponora (maksimalno 120 m^3/s) nije dovoljan, da bi mogao konsumirati sav dotok Like u kišnom jesenskom i proljetnom periodu. Zbog toga je polje između jeseni i proljeća povremeno poplavljeno. Visina poplavnih voda kod katastrofalnih poplava dosiže čak visinu od 16 m, t. j. penje se do kote



Slika 6

501 m n. m. Međutim, trajanje takvih visokih voda je vrlo kratko, cca 2—10 dana, dok poplave do kote 493 m n. m. traju 6—40 i više dana. Ta činjenica upućuje na to, da se Lipovo polje pretvori u zimsku akumulaciju. Usporom od 10 m do kote 495 m n. m. dobila bi se akumulacija korisnog sadržaja 85 hm^3, uz potapanje 1 300 ha poljoprivrednih površina preko zime i 121 kuće.

Pretvaranje ove akumulacije u stalnu ne dolazi u obzir zbog malog boniteta od svega 0,065 $\frac{hm^3}{ha}$, i potrebe preseljenja cca 6 000 okolnog stanovništva. Na tom su području poduzeti također istražni radovi, koji su dali ove rezultate:

Osnovna podloga uzvodnog dijela Lipovog polja izgrađena je od donjokrednih vapnenaca, a nizvodna od jurskih vapnenaca. Dno polja prekriveno je diluvijalnim naplavinama. Granica između donjokrednih i jurskih stijena proteže se zapadno od linije Bastačko selo—Kapela Sv. Petra.

Jura je zastupljena uslojenim vapnencima s mjestimičnim proslojcima dolomita, a donja kreda vapnenačkim brečama. Diluvijalne naplavine sastoje se od muljevite ilovine s uološcima riječnog šljunka, mjestimično izmiješanog crvenicom.

Pod tekstonskim djelovanjem, stijene osnovne podloge Lipovog polja, kao i bokovi, ispresijecani su pukotinama i lomovima. Djelovanje tektonike odrazilo se zbog razlike u strukturi stijena jače na vapnencima gornje jure nego donjo-krednim brečama. Gornjo-jurski vapnenci su uslijed krtosti jako izlomljeni i ispresijecani pukotinama, dok su kod donjo-krednih breča pukotine više koncentrirane na pojedinim sektorima.

Glavni i najjači ponori Like nalaze se u tim jako razlomljenim i karstificiranim jurskim vapnencima na najnizvodnijem dijelu polja. Uzvodno, prema granici s donjokrednim naslagama, ponori su rjeđi i manjeg kapaciteta, a u graničnoj zoni dolaze estavele. Izrazite estavele nalaze se s desne strane polja kod sela Draškovići.

Uzvodno ove estavelske zone dolazi zona povremenih vrela. Nije isključeno, da je nizvodni dio ove zone također estavelskog karaktera.

Na desnom boku polja nema stalnih vrela, već samo povremenih, dok na lijevom boku pored povremenih dolazi i jedno stalno vrelo, koje kod velikih voda jako proradi. Povremena vrela daju vodu samo poslije oborina, a to potvrđuje, da se tu radi o zatvorenom krškom slivu, gdje karstifikacija nije otvorila puteve u drugom smjeru.

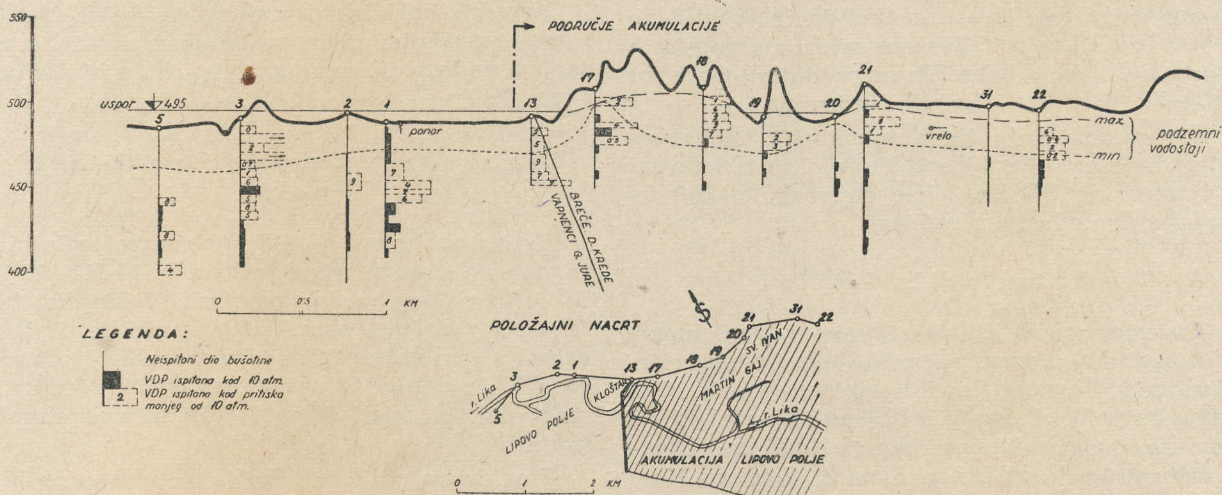
Iz navedenog slijedi, da pregradni profil za ovu akumulaciju treba smjestiti tako, da se izolira ponorska zona i zona estavela. To znači, da za akumulaciju dolazi u obzir samo uzvodni dio polja, t. j. uglavnom područje donjo-krednih breča. Kod takvog smještaja pregradnog profila unutar akumulacije ostala bi samo manja vrela, uglavnom povremena, u području Delak-Martin Gaj. Stanovitih gubitaka iz akumulacije moglo bi biti u području Martin Gaja, na što ukazuju dosta rijetke vrtače u koritu »Potoka«.

Došlo bi u obzir i eventualno izoliranje dijela polja Delak-Martin Gaj, no tek onda, ako se pokaže, da preko povremenih vrela dolazi do većih gubitaka vode, koji ne bi skretali u Gacku.

Isto tako moguća propusna mjesta predstavljaju i najdublja sedla na potezu crkvice Sv. Petar—Sv. Ivan, od kojih su dva najdublja ispitana bušenjem. Propusnost za vodu je kod ovih bušotina u gornjem dijelu do kote dna Like dosta velika, a onda znatno opada. Podzemni vodostaji u bušotinama spuštaju se za vrijeme malih voda na 5—10 m ispod kote dna Like, ali se već kod srednjih voda penju do kote uspora.

Te činjenice govore za to, da se tu mogu očekivati izvjesni gubici vode, koji se mogu spriječiti saniranjem tih slabih mjesta.

Prema tome, na Lipovu polju može se s geološkog stanovišta ostvariti akumulacioni basen za zimsko izravnanje, i to na njegovom uzvodnom dijelu, uz manje radove na saniranju slabih mjesta.



Slika 7

Akumulacija u dolini potoka Bakovca

Dolina potoka Bakovca, pritoka Like, položena je zapadno od akumulacionog basena Kruščica paralelno s njezinim lijevim bokom. U toj dolini uzvodno od Sporčić klanca postoje vrlo povoljne topografske mogućnosti za ostvarenje akumulacionog basena. Pregradom visine cca 40 m mogao bi se ostvariti akumulacioni basen od cca 56 hm³. Sadržaj bi se mogao još i znatno povećati, ukoliko se istražnim radovima, koji na ovom području još nisu dovršeni, pokaže da za to postoji mogućnost.

Akumulacija bi se punila prelivnim vodama akumulacije Kruščice kroz spojni tunel dužine cca 2,5—3 km. Usporni nivo te akumulacije bio bi niži za 24 m. Geološki sastav doline sastoji se od donjo-krednih breča, gornje-jurskih vapnenaca i vapnenaca lijasa. Sve te vapnenačke naslage tektonski su borane i razlomljene, zbog čega je u obje dolinske strane došlo do jake karstifikacije. Ta karstifikacija nije jednaka na obje dolinske strane; ona je na desnoj strani jača nego na lijevoj.

Dalja pozadina desne strane Bakovca zagaćena je prema moru nepropusnim triaskim naslagama (dolomit te razni škriljevci i pješčenjaci) kako je to već izneseno kod basena Kruščica. S iste strane doline nalazi se niz stalnih i povremenih vrela. S te strane nalazi se akumulacija Kruščica. Gubici na tu stranu ne će biti mogući. Na lijevoj strani doline Bakovca nema znatnijih vrela, već samo cijednih ruja. Prema tome, na ovoj strani sliv Bakovca je vrlo ograničen. Najveći dio voda s područja između Bakovca i susjednog Lipova polja otiče prema ponorskoj zoni kod nizvodnog dijela Lipova polja, koje je cca 5—6 km udaljeno od doline Bakovca.

Do gubitaka iz ove akumulacije može doći u prvom redu na lijevoj strani u srednjem dijelu, u području jurskih vapnenaca. Mnogo manja je vjerojatnost gubitaka na nizvodnom dijelu akumulacije, gdje je podloga izgrađena od donjo-krednih breča.

Iz svega ovoga možemo zaključiti, da se ova akumulacija može izvesti, s tim, da će eventualno trebati izvršiti neke radove na saniranju pojedinih mjesta na lijevom boku. To se, međutim, mora još osvijetliti daljnjim istražnim radovima.

Ovu akumulaciju treba promatrati kao alternativno rješenje za Lipovo Polje, i to u kasnijoj fazi izgradnje HE Senj, kao dopunsku nakon izgradnje akumulacije Kruščica.

Akumulacija Kosinj

Umjesto naprijed navedenih akumulacija mogla bi se izgraditi akumulacija Kosinj, s pregradnim mjestom u tjesnacu iznad Kosinjskog mosta. Ova akumulacija bi obuhvaćala Kosinjsko polje, dolinu Bakovac i najniže dijelove basena Kruščica. Usporna kota uzeta je na 530 m n. m., t. j. cca za 55 m uspora. Sadržaj akumulacije iznosio bi 350 hm³, što bi omogućilo godišnje izravnanje Like.

Istražni radovi za akumulaciju Lipovo polje, te Kruščicu i Bakovac, kao i zaključci, doneseni na osnovu tih radova, potpuno vrijede i za ovaj akumulacioni basen. Trebalo bi još rasvijetliti pregradno mjesto i njegovu okolinu.

Ekonomičnost ove akumulacije u znatnoj je mjeri umanjena zbog potapanja velikih površina obradive zemlje i domova, o čemu će još biti govora kasnije. Osim toga, ukoliko HE Senj bude radila koordinirano s alpskim hidroelektranama, ova bi akumulacija postala također prevelika i neekonomična.

Utjecaj akumulacija na poljoprivredu

Kako bi navedene akumulacije na Lici bile smještene na krškim poljima, koja predstavljaju obradivo tlo, to ćemo se osvrnuti i na njihov utjecaj na poljoprivredu. Krška polja u Lici, koja su pokrivena diluvijalnim ili aluvijalnim naplavinama, jedina su obradiva zemljišta, pa su redovito na njihovu rubu smještena relativno gusta naselja. Potapanje takovih polja izaziva prema tome i preseljenje u druge krajeve izvjesnog dijela pučanstva, kojemu se oduzima životna baza. Rentabilnost pojedine akumulacije ovisi, pored utrošenih investicionih sredstava, još i o tome, od kolikog je utjecaja i na ostale grane narodne privrede. U slučaju akumulacija na rijeci Lici odnosi su ovakvi:

Akumulacija Kruščica

Izgradnjom ove akumulacije potopilo bi se 340 ha površine i 67 domova, dok bi izvjestan broj domova ostao bez opskrbne baze. Struktura potapanih površina bila bi: 58% obradivih površina, 26% šume i 16% neplodno i pašnjaka. Obradiva tla su po svom fizičkom i kemijskom sastavu dosta povoljna za primitivnu poljoprivrednu proizvodnju, koja se tamo vrši. Poljoprivredna proizvodnja je prilično niska, te ona ni u najpovoljnijim godinama ne može zadovoljiti potrebe tamošnjeg stanovništva.

Narodni dohodak iznosi svega 8 400 000 Din prema današnjim cijenama, a to predstavlja neznatnu svotu u odnosu na korist, koju bi donijela akumulacija.

Zimska akumulacija na Lipovu polju

Uspornom kotom od 495 m n. m. potopilo bi se za vrijeme t. zv. zimskog perioda od 15 X — 15 IV, 1 300 ha poljoprivredne površine. Velik dio, t. j. 95% tih površina, obradivo je zemljište, koje se nalazi u dnu polja. Osim toga trebalo bi preseliti na više kote oko 130 domova, koji bi došli pod vodu, dok bi ostali domovi došli uz rub akumulacije.

Tlo Lipova polja prilično je siromašno na biljnim hranivima, iako redovno dolazi do taloženja nanosa iza poplavnih voda. Moguće je da lako to-

piva hraniva odlaze s poplavnim vodama, dok ostaje samo netopivi dio mulja. Usprkos tome postižu se dobri prinosi.

Na području zimske akumulacije dolazi nekarbonatno tlo, vrlo zbijeno s velikim sadržajem koloidnih čestica, koje je vrlo teško za obradu. Ako voda leži na njemu preko zime i ne može premrznuti, dugo je hladno i vlažno. U ljetnim pak mjesecima, kad nema oborina, polje presuši i ne može se više oporaviti.

U novo nastalim uslovima ležanje vode na tom tlu kroz 5—6 zimskih mjeseci imat će nesumnjivo i izvjesnih loših posljedica kao: zbijanje gornjeg rastresitog sloja zemlje i istiskivanje uzduha iz njega, pogodovanje razvitku raznih mikroba štetnih po razvoj biljaka i ispiranje topivih soli, što je već i sada zapaženo analizom tla.

Zbog toga bit će potrebno, ukoliko se želi poslije zimske akumulacije tlo osposobiti za kulturu, da se izgrade izvjesni asanacioni objekti, te primijeni daleko intenzivnija agrotehnika od dosadašnje. Od asanacionih objekata trebalo bi provesti drenažni sistem ili sistem otvorenih kanala na području cijelog akumulacionog basena. Tim drenažama odnosno kanalima pospješila bi se odvodnja tla, kako bi se zemljište što brže osušilo i zagrijalo, tako da se može obraditi već u drugoj polovici travnja.

Brzo isušivanje tla s druge strane uvjetovalo bi opet potrebu navodnjavanja u doba vegetacije. Od agrotehničkih mjera trebalo bi nadalje dodavati tlu i organske materije.

Struktura dosadašnjih kultura također bi se izgradnjom akumulacije morala promijeniti. Opstanak livada i sijanje višegodišnjih kultura, kao djeteline, travne smjese i sl. koje služe danas ovom dosta stočarskom kraju kao krmna baza, bilo bi onemogućeno. Zbog toga moralo bi se forsirati krmno bilje na štetu strnih žita, da bi se mogao održati stočni fond. Sadašnji narodni dohodak na tom području iznosi ukupno godišnje 26 500 000 Din, a nakon izgradnje akumulacije, uz primjenu agrotehničkih mjera i navodnjavanja, iznosio bi cca 30 000 000 Din (podaci iz poljoprivredne studije).

Prema tome, narodni dohodak se ne bi bitno mijenjao ni izgradnjom akumulacije, što je važno, jer bi i poslije toga postojala ista ili nešto bolja životna baza za okolno stanovništvo, koje se bavi isključivo poljoprivredom.

Akumulacija Bakovac

Izgradnjom ove akumulacije potopila bi se površina od 320 ha sa 123 doma, što znači preseliti 654 stanovnika. Kvalitet poljoprivrednih površina i narodni dohodak na ovom području po 1 ha je gotovo isti kao i na Lipovu polju. Međutim, tu se radi o manjem potapanju površina i domova.

Akumulacija Kosinj

Ovom akumulacijom potopila bi se poljoprivredna površina od 1 700 ha i 550 domova, pa bi trebalo iseliti 2 400 stanovnika. Osim toga ostalo bi bez opskrbne baze daljnjih cca 500 stanovnika, koje bi također trebalo preseliti.

Bonitet ove akumulacije je $0{,}205 \frac{hm^3}{ha}$, što uz potapanje velikih površina i preselenje ovako velikog broja stanovništva postaje neekonomično. Osim toga, kako je već naprijed spomenuto, nameće se i pitanje, da li je potrebna tako velika akumulacija, s obzirom na ulogu HE Senj u energetskom sistemu, a i da li se mogu zanemariti ostali momenti, poljoprivreda i populacija ovog kraja.

Zaključak:

U pitanju izgradnje akumulacija na rijeci Lici dolazimo, na osnovu prednjeg izlaganja, do ovih zaključaka:

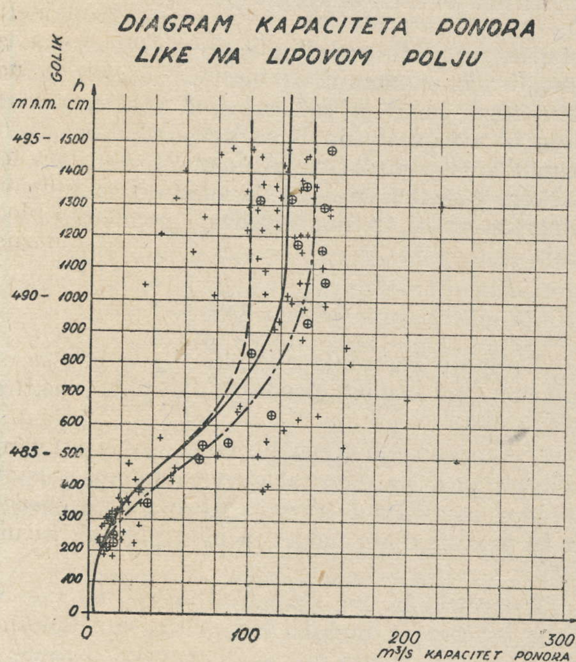
1. Akumulaciju Kruščica može se izvesti s geološkog stanovišta. Isto tako, ni potapanje poljoprivrednog zemljišta i izvjesnog broja domaćinstava ne bi predstavljalo neki značajan gubitak za ovaj kraj.

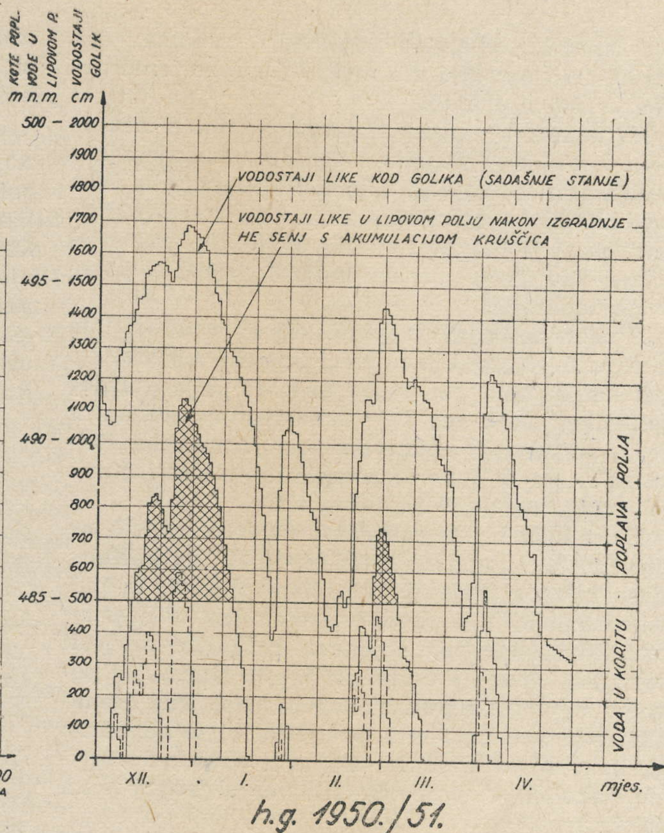
Energetski bi ova akumulacija bila od vrlo velikog značaja za buduću hidroelektranu Senj, jer bi se njome moglo izvršiti sezonsko izravnanje voda Like, kako u zimskom tako i u ljetnom periodu. To bi postrojenju dalo sasma drugi karakter nego ako se izgradi samo sa zimskom akumulacijom na Lipovu polju.

U prvom slučaju postrojenje bi moglo davati energiju za izvoz i za domaće potrebe za pokriće ljetnih deficita, a moglo bi se koristiti i za potrebe aluminijskih kombinata. U drugom slučaju postrojenje bi uglavnom služilo za izvoz zimske energije, što mu daje vrlo jednostranu namjenu.

2. Izgradnja zimske akumulacije na Lipovu polju predstavlja poseban problem sa stanovišta poljoprivrede. To je osobito važno za ovo relativno gusto naseljeno područje, čije se stanovništvo bavi isključivo poljoprivredom. Pitanje je, ne će li iseliti veći dio i onog stanovništva, čiji domovi nisu direktno ugroženi, ali zbog poremećenih komunikacija i 6-mjesečne poplave polja, ne će moći racionalno koristiti svoja polja. U tom bi slučaju ovaj kraj dobio izgled pustog kraja. Zbog toga treba dobro odvagnuti, u kojoj mjeri će ta akumulacija biti rentabilna za HE Senj, uzevši u obzir sve naprijed navedene momente, te onda donijeti odluku, da li izgraditi zimsku akumulaciju na Lipovu polju, ili je zamijeniti stalnom akumulacijom u dolini potoka Bakovca.

Pri tome treba uzeti u obzir i činjenicu, da bi se izgradnjom akumulacije Kruščica i Bakovac mogle znatno poboljšati prilike na Lipovu polju što se tiče poplava. Analizom visokih poplavnih valova ustanovljeno je, da bi se već izgradnjom akumulacije Kruščica visina poplavnih voda na Lipovu polju mogla smanjiti za cca 5—6 m, a njihovo trajanje znatno skratiti, kao što se to vidi iz priloženog dijagrama. (sl. 8)





Slika 8

Daljnjom izgradnjom akumulacije u dolini Bakovca i čišćenjem ponora mogle bi se poplave Lipova polja potpuno spriječiti, osim u iznimnim slučajevima, i provesti melioracija polja. Time bi se, uz primjenu ostalih agrotehničkih mjera, znatno podigao životni standard okolnog stanovništva.

INJEKTIRANJE — KONSOLIDACIJA PUMPNE STANICE GORNJA DOLINA KOD BOSANSKE GRADIŠKE

Ing. **Ivan Vavra,** Elektrosond, Zagreb

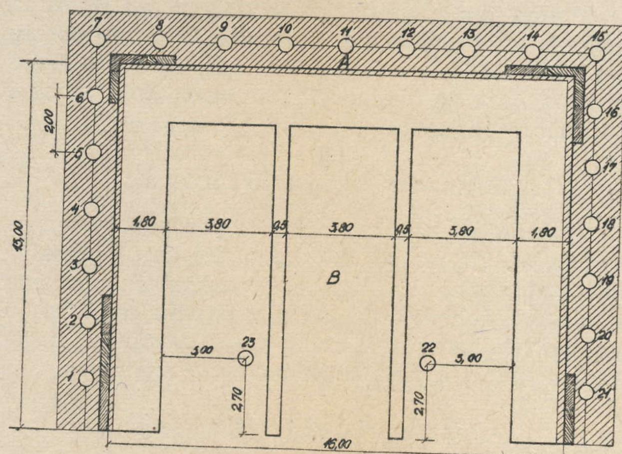
Uvod

Melioraciono područje Bosanske Gradiške zaprema cca 26 000 ha zemljišta koje, je ugroženo od poplava rijeke Save i Vrbasa i voda s okolnih brda. Poplavno područje Lijevčeg Polja obuhvaća plodno zemljište površine 5 650 ha.

Pumpna stanica se nalazi u Gornjoj Dolini na teritoriju melioracionog područja Lijevče Polje, 17 km nizvodno Savom od Bosanske Gradiške, 200 m udaljeno od Save kraj obrambenog nasipa. Pumpna stanica ima zadaću da služi kao zaštita od suvišnih podzemnih i nadzemnih voda. Projektom je predviđeno da 3 vertikalne pumpe ukupnog kapaciteta 9,0 m/³sec. izbacuju vodu poplavnog područja u Savu.

Cijelo je polje zapravo podzemni basen, jer počiva na dubinskim naslagama šljunka i pijeska. Podzemni vodostaj se kreće na dubini od 2,0 do 8,0 m, dok je godišnja oscilacija 4,0—6,0 m. Tu je velika opasnost od podvirnih voda. Poplave su veoma česte u svako doba godine.

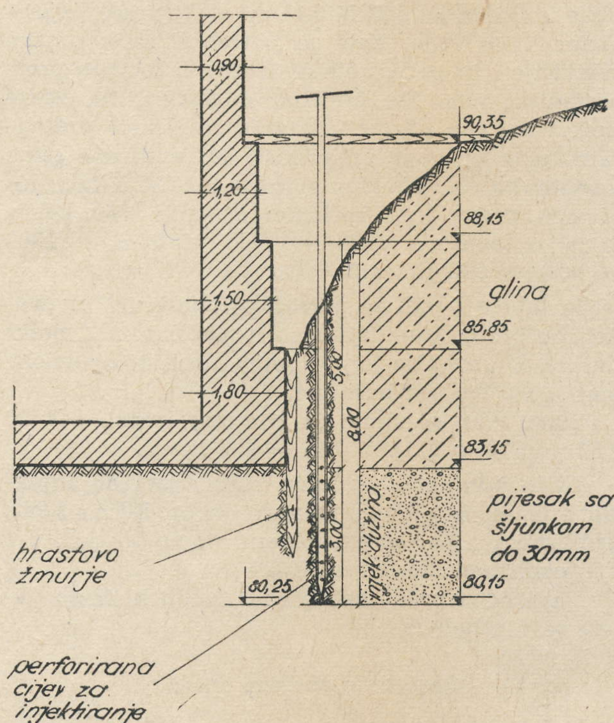
Geološki sastav: jednim dijelom dubinski diluvijalni sedimenti, a najvećim dijelom mlađa aluvijalna tla na šljunku. Debljina šljunka dosiže i do



Sl. 1 — Tlocrt pumpne stanice s urisanom injekcionom zavjesom

40 m. Sloj tla nad šljunkom je kod diluvijalnih nanosa debeo 5,0—8,0 m, a kod aluvijalnih 0,40—1,20 m.

Kod iskopa građevne jame za pumpnu stanicu geološki profil je bio po slici 2.



Sl. 2 — Presjek pumpne stanice s naznačenim geološkim sastavom terena

Projekat cijelog područja radi »Hidroprojekt« — Zagreb.

Zbog potrebne konsolidacije temelja pumpne stanice, povjerena je poduzeću »Elektroprojekt« — Zagreb, izrada projekta i izvođenja ovog rada.

S obzirom na to, da smo ovom radu prišli nakon podrobnije izvršenih proba u našem laboratoriju, u članku su date usporedbe projektiranih i praktično postignutih rezultata.

Program rada

Projektirana je injekciona zavjesa na zapadnom, sjevernom i istočnom dijelu prema nacrtu na sl. 1. Takav položaj injekcione zavjese uvjetovan je položajem zabijenog hrastovog žmurja i iskopom građevne jame za ovaj objekat. Nehomogenost materijala i postojanje većih samaca razlog su, da je prigodom pobijanja žmurja došlo do njegovog izvijanja, tako da uopće nije bilo apsolutnog brtvljenja. Dotok vode u građevnoj jami dosizao je do 1,0 m^3/sec, pa je uz nabacivanje pruća, slame i gline taj dotok smanjen u tolikoj mjeri, da se mogla izvoditi armirana betonska ploča temelja, na kojoj leži cio objekat. Šljunak ispod armirane betonske ploče bio je tokom radova neprestano ispiran, i kraj umanjenog dotoka vode.

Zadaća konsolidacije putem injektiranja bila je dvojaka:

1. Pomoću bušotina u jednorednoj injekcionoj zavjesi, lociranoj tik zabijenog žmurja, postići nepropusnost, odnosno spriječiti daljnje ispiranje šljunka ispod armirane betonske ploče temelja objekta. Tlačena injekciona masa stvara vezu između betona i šljunka i istodobno povećava nosivost šljunka u koji prodire. Teoretski, ploha je predviđena sa »A« na slici 1.

2. Bušotinama ispod cijele plohe armirane betonske ploče sanirati isprana mjesta — ispuniti nepropusnom injekcionom masom. Nalijeganje ploče će biti jednolično po cijeloj plohi. Ploha naznačena sa »B« na slici 1, izvan zavjese.

Razmak bušotina

Kako su dosadašnja naša iskustva u injektiranju aluvijalnih šljunčano-pjeskovitih naslaga bila različita, čak i oprečna u pogledu određivanja razmaka, to je razmak uzet teoretski s pretpostavljenim vrijednostima u sličnim formulama Maag-a i Haefeli-a. Razmak je određen na bazi računa akcionog radiusa po Maag-u:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3r_1}{U_i} \cdot K \cdot \frac{V}{V_1} \cdot h \cdot t} = 92,5 \text{ cm, odnosno}$$

razmak = 2 r = D = 1,85 m.

Elementi formule:

r_1 = 1,30 cm (tlačna cijev za injektiranje promjera 1"),

U_i = 0,30 (odnos brzina/volumen pora),

K = 10^{-2} (za šljunak sa pijeskom),

$\frac{V}{V_1} = \frac{1}{1,4}$ (za omjer 1 : 2 odnos viskoziteta),

h = 4 720 cm h_1 = 300 cm, t = 1800 sec.

Praktički smo izveli razmak bušotina na istočnom i zapadnom dijelu 2,00, a na sjevernom 2,15 m. Pokazalo se, da je razmak uglavnom dobro sračunat, ali je bilo na 4 do 5 bušotina izbijanja na susjednim bušotinama, dok je jednom injekciona masa izbila na udaljenosti 31,0 m od bušotine. Bušotina je bila s mjestom izbijanja vezana vodnom žilom, no čim je ova zapunjena, injekcioni pritisak je porastao i bušotina je bila završena.

Pritisak injektiranja

Jačina pritiska zavisna je od visine nadsloja materijala i od koeficijenta kohezije i trenja istog materijala. Pritisak će se maksimalno koristiti u materijalu gdje za to postoje uvjeti. Kod završnog pritiska treba voditi računa o veličini akcionog radiusa, odnosno pritisku s kojim je on računat, da se ne bi dosegla veća vrijednost, koja je tehnički nepotrebna zbog uzaludnog razastiranja injekcione mase.

Po Mysliveцu, pritisak kod injektiranja pijeska i šljunka treba da ima vrijednost:

$$p \text{ kg/cm}^2 = \frac{c}{10} \cdot H \cdot G = 1,8 \text{ kg/cm}^2,$$

č = koeficijenat kohezije = 1,8 t/m³,
H = debljina nadsloja u m = 5,0 m,
G = zapreminska težina tla = 2,0 t/m³.

Naši upotrebljeni pritisci su mnogo veći: sukcesivno od 5—8 atm., a u II fazi 10 atm. Razlozi za veće pritiske su: veći viskozitet injekcione mase zbog dodatka bentonita i veći otpori zbog injektiranja kroz perforirane cijevi.

Utrošak injekcione mase

Teoretsku količinu upijanja injekcione mase do potpunog zasićenja dobili smo računanjem injekcionog kapaciteta. Te su vrijednosti za pojedine materijale, koji se injektiraju izračunate, i u literaturi tabelarno prikazane. U našem slučaju smo injekcioni kapacitet uzeli sa 360 l/m³.

Tabela I
Utrošak injekcione mase i pojedinih komponenata na bušotinama po tekućem metru
(injektirano 66,00 m')

Broj bušot.	Injekciona masa l/m	Cement kg/m	Bentonit kg/m	Glina kg/m	Ukupna suha tvar kg/m
1	4023	581	242	555	1378
2	3854	605	246	565	1416
3	4226	685	299	683	1667
4	4687	749	251	580	1580
5	1258	142	42	100	284
6	6268	896	366	842	2104
7	5647	672	216	513	1401
8	3404	718	308	123	1149
9	3310	402	134	316	852
10	5889	1331	273	318	1922
11	5159	647	222	520	1389
12	6266	998	592	234	1824
13	1309	147	43	104	294
14	3617	648	313	168	1129
15	2364	272	82	197	551
16	1663	327	186	—	513
17	2480	458	285	—	743
18	3212	583	276	57	916
19	1364	214	78	86	378
20	2180	352	102	237	691
21	1085	167	47	109	323
22	2386	464	272	—	736
23	2219	434	199	24	657
Prosjek po m'	3400	544	221	279	1044

Računski smo došli do razmaka bušotina, odnosno do akcionog radiusa injektiranja, pa smo približne vrijednosti primijenili u praksi (2,00 m i 2,15 m). Na metar dužine bušotine, uz radius 1,00 m, otpada 3,14 m³ volumena, koji se injektira tlačenjem injekcione mase u odnosnu bušotinu. Količna upijanja je: 0,36 × 3,14 m³ = 1,13 m³. Uz približno 15% vode, koja je potrebna za kemijsko vezivanje i uz pore, koje se teoretski moraju pretpostaviti, ostala se količina odfiltrira, te ostaje suhe tvari cca 0,9 m³. Taj volumni odnos pretvaramo u težinski uz vrijednosti suspendirane gline i bentonita sa 0,55 l/kg, a cementa 0,33 l/kg i dobivamo predviđene količine: cementa 560 kg, a glina + bentonit 1300 kg (560 × 0,33 + 1300 × 0,55 = 900 litara).

Iz tabele I vidi se potrošak suhe tvari po svakoj bušotini, kumulativni i reduciran na metar dužine. U prosjeku je postignut utrošak injekcione mase od 3 400 l/m bušotine.

Suha tvar volumno (u litrama) iznosi: 544 × 0,33 + (279 + 221) × 0,55 = 438 litara.

Kada odbijemo volumen suhe tvari od injekcione mase, ostaje nam težinski odnos: 1,044 : 2,962, približno 1 : 3. Naš predviđeni omjer bio je 1 : 2 s injekcionom masom od 4 620 l/m.

Usporedba predviđenih i izvršenih količina nalazi se u tabeli II.

Sastav injekcione mase

Nakon mnogih laboratorijskih opita došlo se do injekcione smjese, koja je imala svojstva specifična za ovaj objekat: nepropusnost za vodu, potrebnu čvrstoću i dosta male troškove po kilogramu. Masa je četverokomponentna: cement, glina, bentonit, voda. Cement je upotrebljen N-400 iz Podsuseda. Glina je kopana sa dva pozajmišta u neposrednoj blizini objekta. Međutim, gline sa oba pozajmišta su bile slabije kvalitete, s indeksom plastičnosti i granicom žitkosti $W'_1 = 45$, $P_I = 19{,}2$, a $P_{II} = 14{,}5$ i $W''_1 = 36$. Laboratorij je konstatirao slabost tih glina i popravio ih dodatkom zagorskog bentonita iz Mestinja. Uz dodatak od 20% bentonita aktiviranog s Na_2CO_3 indeks plastičnosti gline sa pozajmišta I bio je $P'_I = 31{,}1$. Glina je prethodno aktivizirana sa 3% Na_2CO_3.

Pripremanje bazične suspenzije vršilo se u omjeru 1 : 2. Njena gustoća kontrolirana je dnevno brzinom proticanja kroz Mohr-ov lijevak. Probe za ispitivanja su vađene iz specijalnih miješalica s muljnim pumpama, nakon završenog procesa mehaničkog i kemijskog aktiviziranja bazične suspenzije.

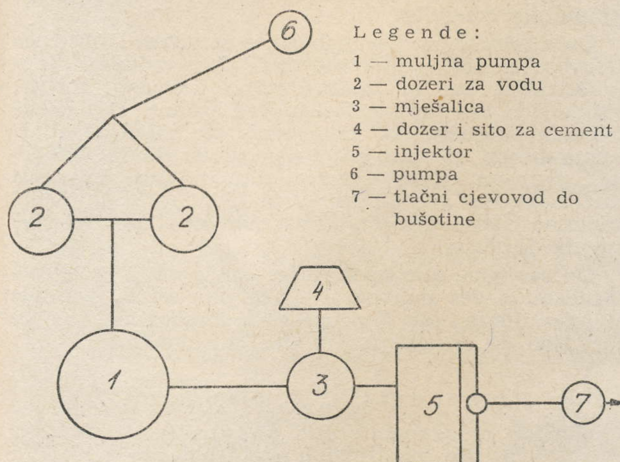
Nakon miješanja gline i bentonita kroz 10—15 minuta (ovisno o njihovoj vlažnosti), pripremljena suspenzija se iz miješalice s muljnom pumpom tlačila cijevnim vodom u baždarene manje miješalice, gdje se pripremila injekciona masa dodatkom cementa i vode. Dispozicija uređaja po slici 3.

Višekomponentna injekciona masa se u maloj miješalici miješala pomoću propelera — uzbuđivača kroz 5—20 minuta, ovisno o brzini ubrizga-

Tabela II
Utrošak po tekućem metru
a-predviđeno b-utrošeno

	Cement				Bentonit				Glina				Ukupno		Cijena suhe tvari po m' Din
	kg	%	jedinič. cijena Din	u masi Din	kg	%	jedinič. cijena Din	u masi Din	kg	%	jedinič. cijena Din	u masi Din	suha tvar kg/m'	suha tvar Din/kg	
a	560	30	18	5,40	260	14	12	1,68	1040	56	1,50	0,84	1860	7,92	14431
b	544	52	18	9,36	221	21	12	2,52	279	27	1,50	0,41	1044	12,29	12831

vanja prethodne miješalice — kada je injektor počeo s usisavanjem mase i njezinim tlačenjem cijevnim vodom do bušotine.



Sl. 3 — Tlocrt montažne injekcione stanice

U prethodnom poglavlju iznijete su predviđene i faktično utrošene injekcione mase, suhe tvari, te omjeri suha tvar: voda. Nastojat ćemo rastumačiti razloge, zašto se moralo odstupiti od pretpostavljenog odnosa suha tvar: voda i međusobnog odnosa suhe tvari — cement : glina : bentonit.

Da bi se to moglo bolje razumjeti, napominjemo, da su bušotine rađene naizmjenično. Na pr., zapadna strana: najprije I. faza bušotine 1, 3, 5 i 7, zatim II. faza bušotine 2, 4 i 6. Kod II. faze smo redovito išli s većim pritiscima, zbog već prije saniranog dijela I. faze. Međutim, kod injektiranja I. faze sjevernog dijela primijećeno je ispiranje injekcione mase normalnog sastava, pa se moralo prići mnogo većem dodatku bentonita, a čak se injektiralo i sa samim bentonitom. Tiksotropija bentonita je spriječila to ispiranje, te se nakon izvjesne količine same bentonitne suspenzije omjera 1 : 5 do 1 : 3 počelo sa dodavanjem cementa i gline. Dakle, s obzirom na to, da sam bentonit u suspenziji zahtijeva više vode od gline i cementa, omjeri su bili rjeđi, a utrošak bentonita u konačnom omjeru sa glinom mnogo veći od predviđenih 20% do faktičkih 44%.

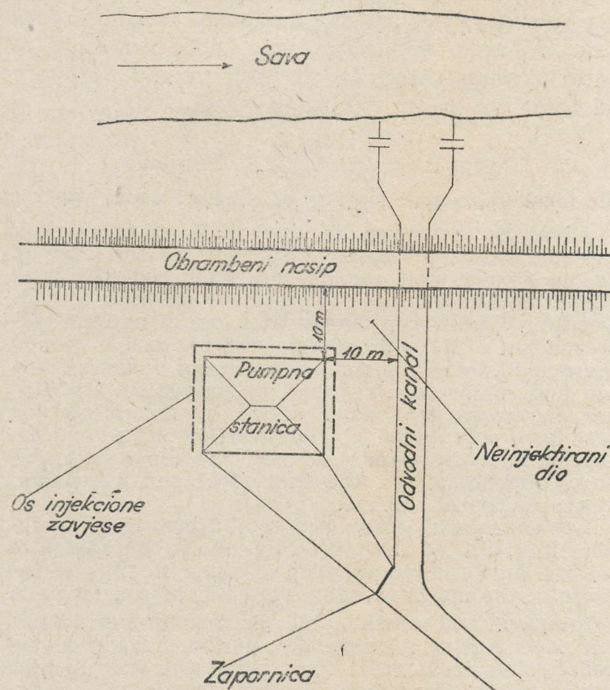
Bujanje bentonita odnosno povećanje volumena injekcione mase jedan je od razloga, da je i ukupno utrošena količina suhe tvari manja od predviđene.

Unatoč poskupljenja utrošenog kilograma suhe tvari (vidi tabelu II), konačna cijena koštanja utroška na metar dužine manja je od predviđene u odnosu 12,831 Din/m : 14,431 Din/m, približno 89%, zbog manjeg utroška mase.

Kriterij završavanja

Predviđen kriterij završavanja 0,22 l/min/m/atm proizlazi iz veličina: volumen kotla-miješalice 150 litara, završno vrijeme 45 minuta, etaža za injektiranje 3,0 m, završni pritisak 5 atm. Kriterij je 1,36 puta stroži od kriterija geologa Lugeon-a, odnosno 2,27 puta od geomehaničara Terzaghi-a. Ovo se predviđalo kao veći koeficijent sigurnosti.

Završni pritisak predviđen je maksimalno 5,0 atm, dok smo mi išli i sa 10 atm, pa je u izvedbi kriterij završavanja varirao od 0,05 do 0,17 l/min/m/atm, a samo tri bušotine su završene po predviđenom kriteriju 0,22 l/min/m/atm. Pooštrenje izvedenog prema predviđenom kriteriju uslijedilo je isključivo zbog povećanja pritiska kao komponente kriterija, uz predviđene završne količine i konstantne duljine injekcionih etaža.



Sl. 4 — Skica gradilišta

Zaključak

Ovo je još jedan od uspjelih radova na injektiranju aluvija kod nas. Postignuti rezultati su kontrolirani, pa je ustanovljeno:

a) Na vodomjernoj letvi mjereno je oticanje vode sa područja pumpne stanice. Prije injektiranja u dijelu dovodnog kanala, pumpne stanice i prostora između nje i odvodnog kanala, kada je bila spuštena zapornica na dovodnom kanalu, vodostaj se na tome dijelu spustio u 24 h za 40 cm. Nakon injektiranja zavjese, na istom prostoru, vodostaj se snizio u 48 sati za 10 cm. Napominjem, da se prostor između pumpne stanice i odvodnog kanala (vidi sliku 4) uopće nije injektirao, pa postoji vjerojatnost, da taj dio propušta najveći dio mjerene vode.

b) Prilikom iskopa temelja trafostanice na zapadnom dijelu pumpne stanice (bušotine broj 1-7) konstatiran je kompaktniji materijal s proslojcima injekcione mase. Kod iskopa građevne jame za pumpnu stanicu materijal se neprestano zarušavao.

c) Kod bušenja zapadnog i sjevernog dijela zavjese isplaka se uopće nije vraćala, dok se kod bušenja istočnog dijela bušotine broj 16-21 većim dijelom vraćala.

Većina pumpnih stanica u Posavlju je fundirano na šljunku i pijesku, pa su i prostrujavanja vode prilična. 35—40% poroziteta ispunjava voda. Vrlo je vjerojatno, da bi se pretežni dio objekata — pumpne stanice, vodne komore i sl. — trebao zaštititi konsolidacijom (injektiranjem).

Slične konsolidacije terena će se vjerojatno redovito izvoditi kod fundiranja stupova dalekovoda preko aluvijalnih terena.

U pripremi je probni rad za injektiranje aluvija u rudarstvu. Tu su, međutim, složeniji problemi. Ukoliko probni rad da dobre rezultate, u najbližoj perspektivi će se prići veoma obimnim radovima na ovom području građevinarstva.

Josip Bać, prof., C. E., Sarajevo

The mechanism and tapping of mineral water sources

Advantage is given to deep drilling over other methods of water tapping especialy in the case of gaseous sources and particularly if the bed-rock is at greator depth. By using appropriate methods of tapping the possibility of detrimental loss of mineral water and gases, through crushed and permeable ground layers is eliminated and the intrusion of undisired surface and underground waters, is prevented. By tapping the water at greater depth, by determinig the most favorable hight of the overflow level and by determining (at gaseous sources) the most favorable source pipe diameter, the best yield and a constant mineralisation is achieved.

Latest research work has established the unfavorable influence of the unevenly exhaled quantities of free gas on the mineralisation of water in spite of the choise of the most favorable diameter of source pipes.

Frequent and considerable changes of mineralisation, even during a single day period, have been recorded. This is of great importance not only for the right tapping of sources, having considerable quantities of free gas, but also for the correct determination of phisical and chemical properties of water.

It is also stressed that only data about yield and mineralisation, stating also the conditions of discharge of mineral water, are of practical and scientific value.

Prof. Ing. J. Bać, Sarajevo

Le mécanisme et le captage des eaux des sources minérales

Parmi toutes les méthodes de captage des eaux gazeuses, on donne la préference au forrage en profondeur, surtout s'il s'agit des couches très profondes. Appliquant une technique de captage appropriée, on évite les fuites de l'eau minérale et du gaz à travers les couches perméables et l'infiltration dans les sources des eaux superficielles et souterraines non désirables. On obtient un débit optime avec une minéralisation constante sous condition qu'on capte à grande profondeur, qu'on determine la hauteur optime du niveau deversant et (pour les sources gaseusés) le diamètre optime des conduites.

On a prouvé par des recherches recentes, l'influence défavorable des quantités de gaz libre exhalées irregulièrement, sur la minéralisation des eau, malgré l'utilisation des tuyaux à diamètre optime. Des changements fréquents et importants de minéralisation, même durant un jour, ont été constatés. C' est important pour un captage correct d'une source minérale enfermant des gaz libres, aussi bien, qu'à la détermination exacte des caracteristiques physiques et chimiques des eaux.

On souligne, que les données sur le débit et la minéralisation des sources, n'ont de valeurs ni pratique ni scientifique, que fournies avec l'indication sur les condition de resurgissement de l'eau minérale.

Josip Rumenović, C. E., Hidroelektra, Zagreb

Production of aggregate and preparation of concrete at the construction site Drenovac (hidro-electric plant Gojak)

For the production of approximately 100.000 m^3 of aggregate for the concrete to be used for the construction of the hydroelectric power plant Gojak, a crushing and screening plant hans been put up at the construction site Drenovac. The aggregate is being produced centrally for the five construction sites and is being delivered by dumper trucks. The whole instalation is home made and has a daily output of more then 300 m^3 of aggregate.

For the concreting of a 2,800 m long part of the intake under pressure tunnel (Approx. 30,000 m^3 of concrete), with a telescoping steel scaffolding, a concrete mixing plant of the »Johnson« type, with semiauthomatic batching, has been build on the construction site Drenovac.

Ing. Rumenović

Fabrication de l' agregat et la préparation de béton au chantier Drenovac

La fabrication d'environ 100,000 m^3 d'agregats, destinés à la construction des ouvrages de la centrale hydroéléctrique de Gojak, a éxigé la mise sur pied d' une station de broyage et triage d' une capacité de 300 m^3/jour, située à Drenovac. L' emplacement central de cette station assure l' approvisionnement de 5 chantiers. Le transport se fait par camions à bascule. Tous les élements de la station ont été fabriqués dans le pays. Le bétonnage d' un plot de 2800 m de longueur de la galerie d' amenés (environ 30.000 m^3 de béton) sera effectué par des coffrages téléscopiques. L' usine à béton se trouve aussi à Drenovac. L' usine à béton est du type »Johnson« munie des doseures sémiautomatiques.

Suvremena mehanizacija hidrograđevinskih radova, iskustva i ekonomski efekti na radovima u Jugoslaviji

PROIZVODNJA AGREGATA I PRIPREMA BETONA NA GRADILIŠTU DRENOVAC (HE GOJAK)

Ing. **Josip Rumenović**, Hidroelektra, Ogulin

Kraj Ogulina, na području rijeka Zagorske Mrežnice, Ogulinske i Gojačke Dobre, gradi se HE »Gojak«, koja je derivacionog tipa, sa glavnim dovodnim tunelom dužine 9,4 km, a godišnjom proizvodnjom od oko 190 miliona kWh električne energije.

a) Proizvodnja agregata

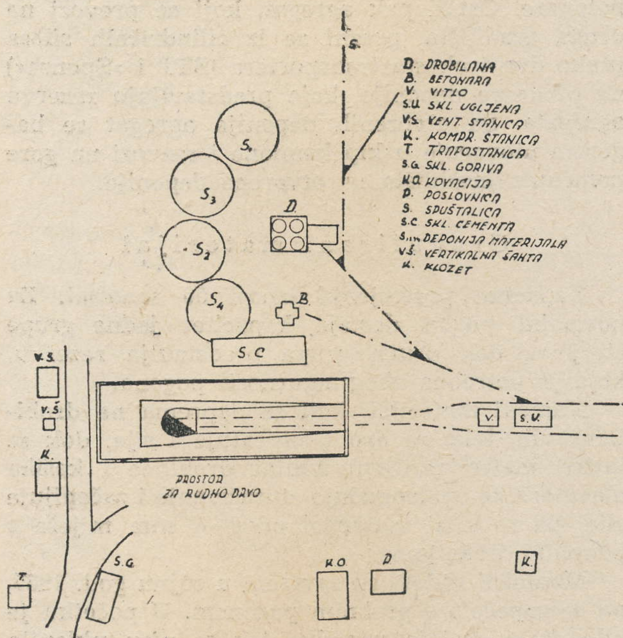
Općenito

Projektom organizacije građenja HE »Gojak« predviđena su dva centralna mjesta za proizvodnju agregata za betonske radove, i to:

— na gradilištu Gojak za potrebe samog gradilišta Gojak,

— na gradilištu Drenovac za potrebe gradilišta Drenovac, Sv. Petar, Bukovik, Gavani i Sabljaci.

Za svih ovih pet gradilišta proizvodi se agregat centralno na gradilištu Drenovac, jer na čitavom tom potezu jedino na gradilištu Drenovac ima dobrog kamena za proizvodnju agregata, a postoje dobre saobraćajne veze sa svim gore pomenutim gradilištima. Srednja udaljenost do ovih gradilišta je oko 4 km.



Sl. 1 — Situacija gradilišta Drenovac

Ukupni zadatak proizvodnje agregata na gradilištu Drenovac iznosi oko 100 000 m³ u dvije građevinske sezone t. j. oko 250 m³ dnevno, ako se pretpostavi 200 radnih dana godišnje.

Za izvršenje tako velikog zadatka trebalo je postaviti i podesno postrojenje, koje će uz veliki proizvodni kapacitet davati agregat za proizvodnju kvalitetnog betona za hidrotehničke objekte, kako u pogledu čvrstoće, tako i u pogledu nepropustljivosti za vodu.

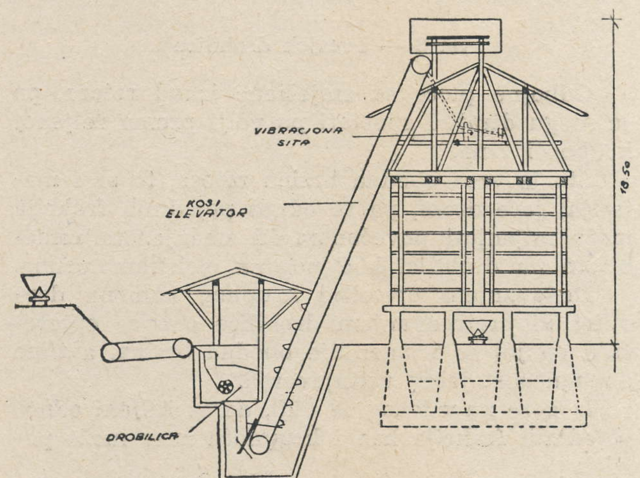
Potrebno je, zatim, da postrojenje proizvodi agregat ekonomično s obzirom na utrošak pojedinih frakcija u betonu, te da ukupni proizvodni troškovi agregata budu što manji.

Projektant organizacije gradilišta HE »Gojak« Ing. Zdravko Linarić predvidio je prvim projektom postrojenja za separaciju strojeve iz uvoza tvornice »Parker« (Engleska), a za betonaru strojeve tvornice »Winget«. Zbog nestašice deviznih sredstava preradio je svoj projekat postrojenja i sporazumno sa domaćim tvornicama i montažnim poduzećima predvidio strojeve i uređaje isključivo domaće proizvodnje i konstrukcije.

Opis instalacije

Instalacija je riješena u principu kao vertikalno postrojenje, a sastoji se od:

— dvije udarne drobilice, s odgovarajućim dodavačima »alimentatorima« (proizvod ST Trbovlje),

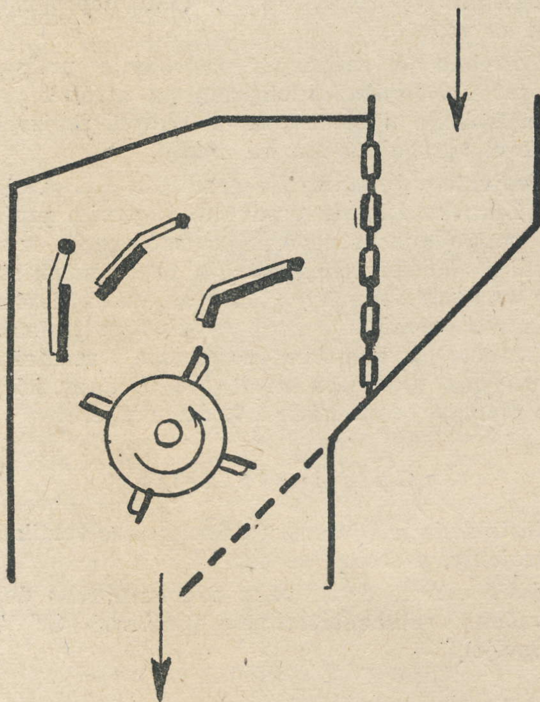


Sl. 2 — Uzdužni presjek postrojenja

— jedan kosi elevator ukupne visine oko 20 m (proizvod TUNT Sesvetski Kraljevac),
— dva vibraciona sita (proizvod ST Trbovlje),
— dva ventilatora za otprašivanje (proizvod »Ventilator« Zagreb),
— četiri cilindrična silosa armirane drvene konstrukcije, s ukupnom sadržinom oko 300 m^3, s potrebnim rižama i zatvaračima,
— dva trakasta transportera za pražnjenje silosa u vanjske otvorene deponije (STT i »Sponsa« proizvodnje »Jedinstvo« — Jankomir).

Udarna drobilica je u radu ekonomična, jer usitnjuje materijal iskorištavanjem dinamične čvrstoće kamena, koja je uvijek znatno niža od statičke.

Drobilica se sastoji od rotora, koji na svom obodu ima četiri udarne ploče od manganovog čelika; ove zahvataju materijal i odbacuju ga u odbojne ploče od manganskog čelika, gdje se on uslijed udara razbija.



Sl. 3 — Presjek drobilice

Odbojne ploče su smještene iznad rotora, pa se mogu dizati i spuštati po volji prema željenoj krupnoći zrna.

Što je veća obodna brzina rotora, to se i materijal jače drobi, pa se odnos pojedinih frakcija može mijenjati povećanom ili smanjenom remenicom na drobilici kod pogona elektromotorima.

Dodavanjem pretežno krupnog kamena drobilici ili pretrpavanjem drobilice ona se opterećuje pa joj se i smanjuje obodna brzina, a time i mogućnost jačeg usitnjavanja.

Iz gore navedenog se vidi, da se željeni odnos pojedinih frakcija kao i krupnoća zrna može postići:

— promjenom veličine otvora između udarnih ploča i odbojnih ploča,
— brzinom rotora (što je najvažnije),
— krupnoćom ubačenog materijala u drobilicu,
— opterećenjem drobilice materijalom.

Oblik zrna, koji dobivamo drobljenjem ovom drobilicom kockastog je oblika, što predstavlja idealni oblik za dobivanje kvalitetnog betona.

Udarne čelične ploče su pričvršćene vijcima za rotor, pa se mogu mijenjati, kad se dugotrajnim radom znatno istroše na svom obodu.

Rad postrojenja

Kameni materijal, koji se istovaruje na nagnutoj površini u obliku predsilosa, zahvataju dva paralelna dodavača (alimentatori) i ravnomjerno ga dodaju na svoje drobilice.

Zdrobljeni materijal na drobilicama pada u kašike elevatora, koje ga dižu i bacaju na vrh postrojenja u čeličnu rižu, kojom materijal putuje na dva paralelno postavljena vibraciona sita. Prvim projektom su bila predviđena umjesto ove riže dva mala dodavača, koji su trebali ravnomjerno dodavati materijal na vibraciona sita. Na vibracionim sitima se zdrobljeni materijal odvaja u četiri frakcije, i to: 0—7 mm, 7—15 mm, 15—30 mm i preko 30 mm veličine zrna, te rižama klizi u odgovarajuće cilindrične silose.

Dva ventilatora otprašuju materijal od drobilica i od vibracionih sita, te odnose prašinu i eventualne muljevite sastojke u ciklon prašine, gdje se prskanjem vodom sprečava prekomjerno prašenje oko samog postrojenja.

Granulirani materijal prevozi se iz cilindričnih silosa za potrebe gradilišta Drenovac kolosjekom 0,60 m i vagonetom 0,75 m^3 sadržine do betonare, koja je u neposrednoj blizini i ubacuje na alimentator, koji ga ravnomjerno donosi na vertikalni elevator za dizanje agregata u silose betonare. Ostali pak agregat, koji se prevozi na druga gradilišta, prazni se iz cilindričnih silosa preko dva trakasta transportera (STT i »Sponsa«) na otvorene deponije, koje predstavljaju rezervu agregata. Sa otvorenih deponija agregat se bagerom utovaruje u kip kamione i razvozi na gore pomenuta gradilišta na otvorene deponije.

Granulirani materijal

Kapacitet postrojenja iznosi 50 tona/sat. Za normalni pogon dostaje kapacitet jedne grupe strojeva, dok druga grupa predstavlja rezervu, koja je potrebna zbog sigurnosti pogona.

Kameni materijal, koji se doprema na drobilanu suh, lako se drobi, otprašuje i sije, dok se mokri materijal lijepi unutar drobilice i kašika elevatora, te onemogućuje otprašivanje i začepljuje sita, pa se sitni materijal od 0—7 mm miješa s krupnim frakcijama.

Montažni radovi su završeni u rujnu god. 1955, pa se započelo s probnim pogonom. U početku je bilo dosta zastoja u radu, dok se nisu uklonile razne konstruktivne greške i nedostaci montaže.

Napomenut ćemo samo najvažnije:

— Vibraciona sita su se začepljivala, pa su često pucala zbog povećane mase, koja je vibrirala, što je izazvalo znatne zastoje u radu. Kad je sitima dan strmiji nagib, a njihova konstrukcija pojačana i samo sito bolje napeto na svom okviru, nije više bilo zastoja zbog sita, dok se drobio suhi materijal.

— Traka vertikalnog elevatora nije imala poprečnog osiguranja, i nije se mogla ravnomjerno nategnuti vijcima za regulaciju da bi se ravnomjerno kretala preko valjaka. Postavljene su stoga dvije role na dnu, a dvije na vrhu konstrukcije, koja nosi traku, kao osiguranja, da bi se spriječilo šetanje trake po glavnim valjcima.

— Traka kosog elevatora, koja je bila privremeno montirana od gumiranog platna, rastezala se, pa je krajem lipnja i pukla. Ona je zamijenjena već nabavljenom čeličnom pletenom trakom (izrada T. Tehnic — Celje).

— Kod prekida struje, zbog nedostatka elektromagnetske kočnice, kosi elevator se uslijed težine materijala u kašikama okretao u obrnutom smjeru, pa je zatrpavao prostor na dnu elevatora. Postavljena je provizorna klapa, koja u momentu obrnutog kretanja elevatora zapne za kašiku elevatora.

Pogon instalacije

Pogon instalacije vrši se na tri mjesta:

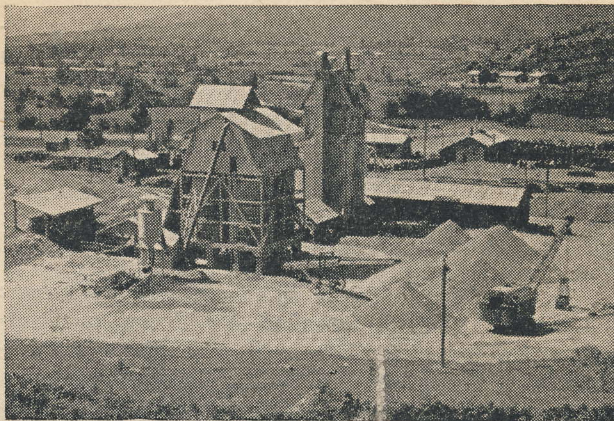
— Pogonski strojar kod drobilane ima dužnost da rukuje pogonom drobilica, dodavača i uređaja za otprašivanje. Na drobilicu može puštati preko dodavača komade kamena, čija dimenzija ne prelazi 30 cm. Veći komadi kamena moraju se razbiti, kako ne bi došlo do oštećenja drobilice.

— Pogonski strojar na sitima rukuje separacijom i elevatorom, a signalnim zvoncem je međusobno povezan sa strojarom na drobilani, kako bi se rad postrojenja nesmetano odvijao.

— Pražnjenje cilindričnih silosa preko transportera u otvorene deponije vrše dva radnika.

Materijal za drobljenje

Predviđeno je, da će biti moguće za proizvodnju agregata za beton iskorišćivati oko 50% materijala iz tunelskog iskopa, a ostalih 50% treba izvaditi u kamenolomu i kolosjekom dopremati na drobilanu. U ovoj građevnoj sezoni za proizvodnju oko 45 000 m^3 agregata iskorišćivat će se uglavnom samo kameni materijal od tunelskog iskopa. Kameni materijal iz tunela dovozi se kolosjekom pomoću lokomotive direktno na drobilanu, ukoliko u njemu nema zemlje ili muljevitih sastojaka. Kameni materijal, koji je pomiješan sa zemljom, odvozi se na deponiju, gdje se ručno prebire i utovaruje u obrtne vagone sadržine 1,5 m^3 i kolosjekom pomoću parne lokomotive dovozi na drobilanu. Da bi se osigurao kontinuitet utovara i transporta, transport



Sl. 4 — Pogled na postrojenje

se vrši sa dvije kompozicije; dok se jedna kompozicija utovaruje, druga je na putu ili se istovaruje. Obližnja deponija materijala od tunelskog iskopa mogla se direktno buldozerom gurati na drobilanu.

Kako se rad na iskopu u tunelu odvija u tri smjene, to i drobilana i separacija rade u tri smjene, kako bi se sav iskoristivi materijal iz tunela direktno vozio na drobilanu.

Na nagnutoj površini ispred samih dodavača treba eventualne kamene blokove veće od 30 cm razbiti batom, kako ne bi oštetili drobilicu. Tu također treba ukloniti i sav strani materijal, koji se ne smije naći u agregatu za beton.

Trebalo je već u početku iskopa tunela urediti dva odvojena mjesta za deponiranje materijala od tunelskog iskopa. Jedno za čisti kameni materijal, a drugo za kameni materijal pomiješan s ilovačom. Sa deponije od čistog materijala mogao bi se utovar u vagone vršiti mašinski, bez ručnog prebiranja.

Kamenolom, koji je u blizini drobilane i separacije, na nešto povišenom mjestu, nalazi se u stanju otvaranja. Kad se utroši upotrebljivi kameni materijal od tunelskog iskopa, pristupit će se eksploatiranju kamena iz kamenoloma za potrebe drobilane i separacije. Predviđeno je, da se kamen vadi uz upotrebu pneumatskih i električnih bušilica i ručno utovaruje u vagonete 0,75 m^3 sadržine. Dekovilskim kolosjekom i spuštalicom (bremsberg) dopremat će se kamen na drobilanu. Sve instalacije na kamenolomu računate su za dnevni kapacitet od 250 m^3 agregata. U tu je svrhu na kamenolomu već postavljen kompresor M. 0—6 s kapacitetom od 12 m^3 uzduha na minutu.

U god. 1955 zdrobljeno je oko 4 200 m^3 agregata, a od 1 I do 1 VIII 1956. oko 22 000 m^3 agregata. Mjesečna maksimalna proizvodnja bila je 6 500 m^3 agregata u mjesecu srpnju. Mjesečne količine drobljenja agregata planiraju se prema planiranim količinama betonskih radova. Za 1 m^3 zdrobljenog agregata troši se oko 3 kWh električne energije.

Terenski betonski laboratorij ispituje agregat kako u pogledu njegove čistoće, tako i u pogledu

granulacije. U pijesku od 0—7 mm nalazi se izvjesna količina ilovače, no sva probna tijela su pokazala vrlo dobru čvrstoću kod dozaže normalnih količina cementa. Probna tijela rađena za ispitivanje nepropusnosti za vodu izdržavaju traženi pritisak od 7 atm.

b) Priprema betona

Općenito

Za betoniranje dijela dionice tunela Drenovac—Gojak i dionice Drenovac—Sv. Petar u ukupnoj dužini od oko 2 800 m ili oko 30 000 m³ betona, izvedenog sa čeličnom oplatom, izgrađena je instalacija betonare za polu automatsko doziranje agregata i cementa. Instalacija za pripremu betona je konstrukcije tipa »Johnsonova tornja« po uzoru na betonare, koje proizvodi tvornica »Lolo Parisini«, a smještena je u neposrednoj blizini drobilane.

Ovom betonarom se postiže velika točnost u doziranju materijala, koji ulazi u sastav betona. Čvrstoća betona ne ovisi samo o vrsti upotrebljenih materijala i o primijenjenom postotku mješavine, nego i o homogenosti proizvoda. Betonske mješalice, koje se obično upotrebljavaju na radilištima, pored drugih nedostataka imaju i taj, da daju smjese koje su vrlo nesavršene u pogledu homogenosti, jer to u ovom slučaju ovisi o velikoj mjeri o spretnosti i pažljivosti osoblja, kojemu je povjereno doziranje i miješanje materijala.

Za izvršenje velikih betonskih radova, treba da proizvodni troškovi radova u betonu budu što niži, a homogenost mješavine što savršenija, uz mogućnost elastične regulacije odnosa upotrebljenih materijala.

Učinak ovog postrojenja je vrlo visok, jer je mješalica betona uslijed svoje specijalne konstrukcije pogodna za vrlo brz rad, bez ikakve bojazni, da bi to škodilo kakvoći smjese.

Sav uređaj ove instalacije je domaće proizvodnje i konstrukcije, osim poluautomatskih dozatora, koje je isporučila tvornica »Lolo Parisini«. Montažu čitavog postrojenja izvelo je poduzeće »Jugomontaža« Zagreb.

Konstrukcija

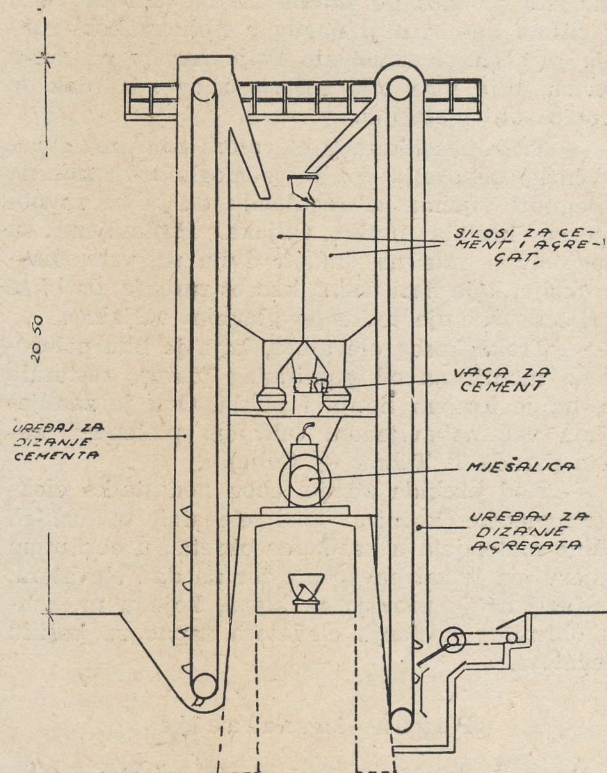
Konstrukcija ima ove dijelove:

— 4 silosa za 4 frakcije agregata i u sredini silos za cement, što čini treću etažu čitave instalacije. Nad silosima je postavljen razdjeljivač, preko kojeg se agregat, koji se diže vertikalnim elevatorom, razdjeljuje u četiri silosa. U srednji silos diže se cement pomoću vertikalnog elevatora za cement preko riže za cement.

Sadržaj svakog silosa je cca 25 m³, t. j. ukupno oko 100 m³ agregata, što odgovara otprilike jednodnevnoj potrošnji. Sadržaj silosa za cement je cca 7 m³, odnosno 10—11 tona cementa.

— Dva elevatora kabličara, vertikalno vezana na konstrukciju, i to elevator za dizanje agregata za silose kapaciteta cca 25 m³/sat i elevator za dizanje cementa u silos kapaciteta cca 15 tona/sat.

— Alimentator (dodavač), montiran na strani elevatora za agregat, služi za ravnomjerno dodavanje agregata u elevator.



Sl. 5 — Presjek betonare

— U drugoj etaži konstrukcije ispod silosa, vezani nastavno na njih, nalaze se 4 dozatora za agregat i vaga za cement. Dozatori za agregat su volumetrički, a pune se gravitacijom. Njihov sadržaj se može mijenjati od 120 do 500 l. sadržine. Doziranje cementa se vrši tako, da elektromotori pokreću dva puža, koji dopremaju cement u posudu, koja je obješena na vagu. Poluga vage je vezana preko kontakta s automatom, koji vrši iskapčanje elektromotora, što pokreću puževe za dodavanje cementa na vagu.

Svi dozatori agregata i cementa vezani su preko strujnog kruga i zračnih vodova na komandnu centralu, preko koje se vrši sva manipulacija doziranje agregata i cementa. Svjetlosnom signalizacijom kontrolira se pravilnost rada dozatora.

— U prvoj etaži konstrukcije na betonskom postolju smještena je mješalica sadržine 1 000 l, izvedbe »Hidromontaže« Maribor. Nad mješalicom nalazi se kotlić za vodu sa vodomjernim staklom za doziranje vode u mješalicu. Kao veza između dozatora i mješalice služi lijevak iz čeličnog lima, preko kojeg se ubacuje u mješalicu agregat i cement, ispušten iz dozatora. Taj je lijevak na svom kraju snabdjeven zatvaračem. Za izbacivanje betona iz mješalice služi podmetač, preko kojega klizi beton napolje iz mješalice u obrtne-vagone na dekovilskom kolosjeku.

— Elektroinstalacija je uvedena u betonaru preko glavne rasklopnice, odakle vodovi idu pre-

ma elektromotoru za mješalicu, za pogon elektromotora i komandnu centralu dozatora.

— Vazdušni vodovi dolaze od kompresorske stanice preko glavnog zračnog voda i preko komandne centrale dozatora u mrežu zračnih vodova na cilindre zatvarača pojedinih dozatora i pojedinih silosa.

— Vod za dovod vode do kotlića priključen je na gradilišni vodovod.

— Betonara je pokrivena limenim krovom i obložena salonitnim pločama. U prvoj etaži su montirane dvije velike peći za piljevinu, pa je tako omogućena priprema betona i zimi za betoniranje tunelske obloge.

Skladište cementa smješteno je u drvenoj baraci kraj betonare. Transport cementa na gradilište vrši se u papirnatim vrećama kamionima.

Kapacitet betonare je oko 10 m^3 betona na sat. Iako se dnevno može ugraditi najviše do 100 m^3 betona u tunelsku oblogu pomoću teleskopske čelične oplate, betonara je dimenzionirana za dnevni kapacitet preko 200 m^3 zbog šiljaka opterećenja rada same betonare u stanovite sate, kako to diktira tehnološki proces rada sa čeličnom oplatom. Osim toga, ovdje se vrši priprema betona i za betoniranje unutarnje tunelske obloge na mjestima gdje je predviđena dvostruka tunelska obloga. Na gradilištu Gojak, gdje je montirano slično postrojenje betonare, vrši se priprema betona za tunelsku oblogu kao na gradilištu Drenovac i još za betonske radove na strojarnici.

Pogon instalacije

Pogon instalacije vrši se sa tri mjesta:

— Pogonsko mjesto u trećoj etaži ima dužnost da održava pune silose s agregatom i cementom. Sa tog mjesta rukuje se pogonom elektromotora elevatora za agregat, alimentatora za agregat i elevatora za cement. Ovom pogonskom mjestu podređeno je osoblje, koje ima zadatak da doprema agregat do alimentatora i cement do elevatora za cement. Ono se međusobno sporazumijeva signalnim zvoncem.

— Pogonsko mjesto u drugoj etaži ima dužnost da dozira agregat i cement preko komandne centrale. Uključivanjem ručice komandne centrale u razne položaje upravlja se punjenjem dozatora agregata i cementa, zatvaranjem silosa i pražnjenjem dozatora u lijevak iznad mješalice. Naročito je važno u ovoj etaži svakodnevno čišćenje i podmazivanje pneumatskog uređaja za otvaranje i zatvaranje dozatora.

Promjene volumena dozatora i agregata i količine cementa vrše se prema uputama laboratorija za beton.

— Pogonsko mjesto u prvoj etaži ima dužnost da stavlja u pogon mješalice, da ih puni i ispražnjuje iste, te da dozira potrebne količine vode putem kotlića, čisti i podmazuje sve uređaje na toj etaži. Zbog ujednačenja trajanja miješanja služi pješčani sat.

— Dopremu agregata alimetatorima i cementa elevatoru za cement vrše dva radnika. Pranje vagoneta i manipulaciju vagoneta za vrijeme punjenja vrše druga dva radnika.

Prevoz kompozicija betona od betonare do rampe kosog pristupnog okna vrši se parnom lokomotivom »Đ. Đaković«, koja ujedno prevozi na mjesto istovara i kompozicije iskopanog materijala iz lijeve strane tunela. Beton se prevozi u kompozicijama od 6 vagona sadržine 0,75 m^3. Zbog strmine kosog pristupnog tunela može se prevoziti jednom kompozicijom 3 m^3 betona.

Rad betonare

U mjesecu studenom god. 1955 radove na montaži postrojenja završila je »Jugomontaža« Zagreb i »Hidromontaža« Maribor. Odmah se pristupilo probnom pogonu i uočeno je ovo:

— Dozatori za agregat i cement radili su bez većeg prigovora.

— Elevatori za agregat i cement su pretrpjeli izvjesne preinake, zbog osiguranja same trake i sprečavanja rasipanja sitnog materijala, koji se dizao u silose.

— Rad mješalice, koju je izradila i postavila »Hidromontaža« — Maribor, nije zadovoljavao, jer je kod miješanja betona ispadao u izvjesnoj mjeri napolje beton kroz otvor za pražnjenje, a izmiješani beton nije pokazivao potrebnu homogenost. Osim toga, i uz pažljivo pranje i čišćenje betonski malter se u znatnoj mjeri hvatao na obodu same mješalice. Mijenjanjem oblika lopatica u mješalici, montažno poduzeće nije uspjelo poboljšati rad mješalice, pa je samo gradilište nakon dužeg promatranja uspjelo da stvar usavrši smanjivši broj okretaja mješalice od 15 na 10 okretaja na minutu. Smanjenjem broja okretaja smanjena je i obodna brzina bubnja mješalice, pa i centrifugalna sila, koja je sprečavala pravilno miješanje betona i potpuno ispražnjenje mješalice. Da bi se spriječilo ispadanje betona iz mješalice za vrijeme rada postavljen je na otvoru mješalice čelični prsten trokutnog presjeka. Nakon ovih preinaka postrojenje radi ispravno i bez zastoja.

Isprva se vršila priprema betona od 4 frakcije agregata s maksimalnim zrnom 70 mm, no s početkom rada na betoniranju tunelske obloge pneumatskom metodom prešlo se na pripremu betona od 3 frakcije s maksimalnim zrnom 30 mm. Kako se sitne frakcije od 0—7 mm upotrebljavaju za pripremu betona oko 50%, to se sada 2 silosa iskorišćuju za frakciju agregata od 0—7 mm.

Kako se sa betonskim radovima u tunelu započelo prilično kasno, zbog montaže čelične oplate, to se je do 1 VIII 1956 sa betonarom izvršila priprema svega oko 2 000 m^3 betona za betoniranje tunelske obloge. U tom kratkom periodu rada, postrojenje betonare se pokazalo vrlo dobro, jer su svi uređaji funkcionirali gotovo besprikorno. Tako je i ovo postrojenje pokazalo, da stvarno postoje dobre mogućnosti da naša domaća industrija samostalno proizvodi savremena mehanizirana sredstva za naše građevinarstvo.

MONTAŽNI KANALI I PITANJE HIDROTEHNIČKIH MELIORACIJA U HERCEGOVINI

Ing. L. Cerar, Hercegnovi

Uvod

Natapni kanali do kapaciteta 2—3 m³/sek. u naprednim se zemljama izrađuju u novije doba u vidu montažnih, prefabriciranih betonskih kanala. Najčešće se u tu svrhu upotrebljava vakuumirani beton, ponegdje u kombinaciji s prednapregnutim betonskim konstrukcijama.

Svrha ovog elaborata je da prikaže tehničke osobine, glavne karakteristike i ekonomski značaj montažnih kanala u klimatskim i hidrološkim prilikama Hercegovine.

Imajući u vidu da su u tome prostoru praktično izgrađene male, lokalne melioracije, ili se nalaze u završnoj fazi izgradnje, lako se može uočiti da je osvajanje novih površina i uzdizanje poljoprivrede u prvom redu vezano na hidrotehničke melioracije prostranih polja kao što su:

Bijelo i Bišće Polje	11 000 ha
Mostarsko Blato	4 000 „
Imotsko-Bekijsko Polje s Posušjem .	9 000 „
Popovo Polje	9 000 „
Dabarsko Polje	2 600 „
Deransko-Svitavsko Blato	3 400 „

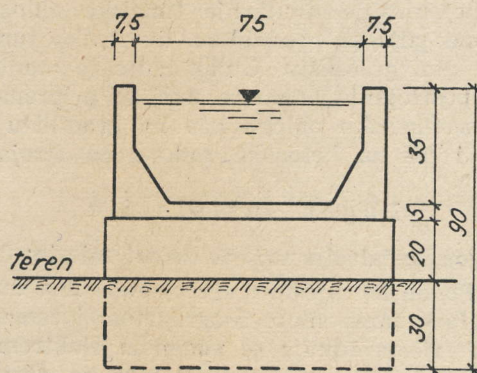
Radi se, dakle, o ukupnoj površini od cca 40 000 ha, na kojoj se skoro svuda kategorički postavlja pitanje integralne melioracije: odbrana od poplave, odvodnjavanje, navodnjavanje i zaštita tla. U okviru ovog elaborata pozabavićemo se isključivo sa tzv. III. fazom melioracije, tj. navodnjavanjem.

Daleko najveći dio investicionih troškova navodnjavanja otpada na izgradnju glavnih dovodnih kanala i razvodne mreže. Na osnovu idejnog projekta natapanja Mostarskog Blata (4 000 ha) utvrđeno je, da na 1 ha idealne natapne površine otpada 50 m kanala, a investicioni troškovi kanalske mreže iznose približno 300 000 Din/ha. (U Vojvodini — uprava kanala Dunav—Tisa—Dunav — računa se u prosjeku sa 29 m kanala na 1 ha, a troškovi kanala i razvodne mreže iznose cca 400 000 Din/ha).

Ako pretpostavimo da ti pokazatelji važe i za ostala hercegovačka melioraciona područja, dolazimo do zaključka, da izgradnja kanalske mreže za 40 000 ha iziskuje cca 2 000 km kanala odnosno cca 12 milijardi investicija.

U ovim dimenzijama zadatka svako smanjenje troškova u izgradnji kanala pretstavlja priličnu sumu. Tako, napr., smanjenjem troškova izgradnje za svega 100 dinara po metru dužine kanala postiže se ukupna ušteda od 200 miliona dinara. Iz toga jasno proizlazi, da smo veoma zainteresovani da ispitamo nove tehničke mogućnosti za iznalaženje najekonomičnijeg načina izgradnje natapnih kanala.

Postojeći način izgradnje natapnih kanala



Sl. 1

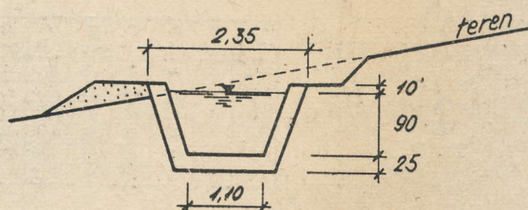
Svakom poznavaocu Hercegovine i uslova natapanja u ovim krajevima poznati su betonski kanali relativno malog protočnog profila, i u vezi s tim i malog kapaciteta. Pravljeni su od betona, s unutrašnje strane često ožbukanog cementnim malterom, a postavljeni su na suvi zid, koji često dostigne dosta velike visine. Protočni profil je približno kvadratičan. Kod većih protočnih količina (300—500 l/sek.) on je pravougaon. U svakom slučaju, ovi kanali pretstavljaju tehničko rješenje za razvodnu mrežu II, III ili IV. reda. Što se tiče kapaciteta, ovi kanali odgovaraju montažnim kanaletama profila T 40, T 60 i T 80. Taj način izgradnje malih kanala pokazuje dosta slabosti, a glavne mane bile bi ove:

Suhi zid kao temelj kanala nije dovoljno duboko fundiran (redovno iznad granice smrzavanja). Posljedica toga je neravnomjerno sjedanje i pucanje kanala. Kanali se grade bez ikakvih dilatacionih reški. Zbog velikih temperaturnih razlika kanali moraju pucati, a time se gubici vode dalje povećavaju.

Beton kanala (zbog nedovoljnog poznavanja tehnologije betona) nije dovoljno nepropustan za vodu, a u vezi s tim nije ni otporan na smrzavanje. Da je tome tako, dokazuju kanali u VZ Rodoč, izgrađeni u periodu od god. 1938 do 1944, koji se nalaze u vrlo lošem stanju, tako da će se u cijelosti morati obnoviti.

Cijena koštanja za 1 m kanala različitih veličina, koja se navodi, određena je na temelju glavnog projekta Hidrotehničke sekcije u Mostaru za natapno područje Ortiješ—Buna.

T 40/II	2 816.— Din/m,
T 60/II	3 773.— Din/m,
T 80/II	5 122.— Din/m.



Sl. 2

Glavni dovodni kanali projektuju i izgrađuju se, kako se to vidi iz priloga br. 1, sa širinom dna od 0,90—1,60 m. (Kanal Klobuk—Veljaci ima maksimalnu širinu 1,60 m, a glavni dovodni kanal za Mostarsko Blato predviđa se čak sa širinom dna od 2,20 m). Obloga kanala je od kamena, debljine 25—30 cm, a nagib zidova je obično 3 : 1. Kao sredstvo za vezanje upotrebljava se malter od gašenog kreča i crvenice 1 : 2 ili 1 : 3. Vidna površina kamene obloge fugirana je do dubine 2 cm sa cementnim malterom 1 : 2. Osnovne dimenzije pojedinih tipova ove vrste kanala vide se na prilogu br. 1. One su tako izabrane, da napr., tip kanala T 120/I pretstavlja, što se tiče kapaciteta, s obzirom na gubitke koje smo procijenili sa 40%, adekvatan ekvivalent vakuumiranom betonskom montažnom kanalu T 120.

Dijagram propusnosti računat je pomoću Bazenove formule sa koeficijentom rapavosti a = 0,85.

Troškovi izgradnje ovih kanala iznose prema kalkulacijama:

T 80/I:	7 552.— Din/m
T 100/I:	9 262.— Din/m
T 120/I:	11 726.— Din/m
T 140/I:	14 175.— Din/m

Osnovne karakteristike i prednosti vakuumiranog betona

Vakuumirani beton je beton normalnog sastava i skoro plastične konsistencije; pri tome se mora puna pažnja posvetiti granulometriskom sastavu betonskog agregata, a naročito tzv. mikrofrakciji od 1—4 mm promjera zrna. Od normalnih betona razlikuje se uglavnom samo što se tiče ugrađivanja i tretiranja za vrijeme proizvodnje.

Postupak izrade montažnih kanaleta je ovaj: Beton se vibrira za vrijeme ugrađivanja u dvostranu metalnu oplatu, koja je sa konkavnom stranom okrenuta prema dole. Kada je oplata potpuno ispunjena betonskom masom, počinje vakuumiranje betona, tj. priključi se vukuumpumpa na donju metalnu oplatu. Djelovanjem ove pumpe otstrani se iz još svježe betonske mase višak vode, koji nije potreban za kemijski proces vezanja cementa. Vodocementni faktor V/C na taj se način poboljšava, što u presudnoj mjeri utiče na čvrstoću betona.

Postupak vakuumiranja jedne kanalete, dužine 4 m, traje 20—30 minuta. Neposredno zatim skidaju se i spoljna i unutrašnja metalna oplata i prenose se dalje pomoću posebnog uređaja na točkovima, pa se odmah pristupa izradi drugog komada. U prosjeku se s jednim kompletom oplate može izraditi svaki sat jedan komad kanalete dužine 4 m, bez obzira na njenu veličinu. Gotove kanalete ostave se 24 sata na drvenim osnovama (postoljima), nakon čega se deponiraju pored »pruge«. Nakon sedam dana možemo ih bez ikakva rizika transportirati na deponiju, ili ih možemo ugraditi.

Iz grafičkog priloga br. 2 vidi se, da su napr. zidovi montažnog kanala T 60 debeli svega 5 cm, pa ipak ih je preduzeće »Gradis« transportiralo kamionom 3 km daleko, i to već nakon sedam dana. Kod transporta kanalete su stršile 1,5 m preko platoa kamiona, i uza sve to nisu bile nimalo oštećene. To dokazuje da montažni kanali nisu osjetljivi za transport, a to je za naše saobraćajne prilike vrlo važna činjenica.

Glavne prednosti vakuumiranog betona su ove:

Ugradnja betona je s obzirom na plastičnu konsistenciju betonske mase brza i laka, a vakuumiranjem se postiže vrlo kompaktan beton.

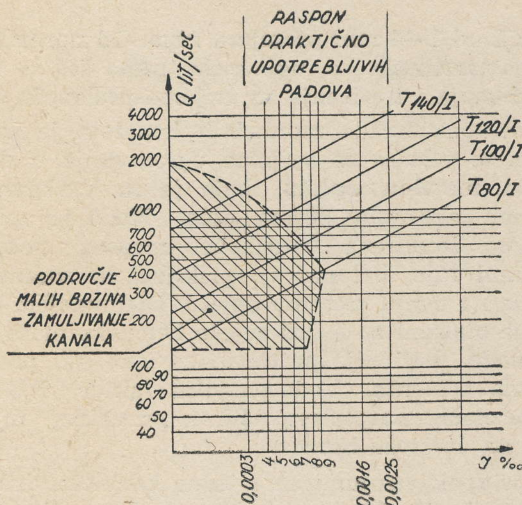
Kod normalnih konstrukcija, s obzirom na poboljšanje vodocementnog faktora, može se smanjiti doza cementa, jer je vakuumirani beton sa 300 kg cementa ekvivalentan nevakuumiranom betonu sa 350 kg cementa.

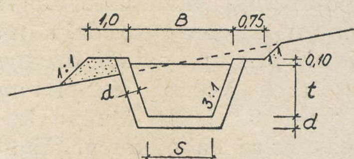
Stvrdnjavanje betona je 2—3 puta brže, što omogućava naglo skidanje oplate i brzo ugrađivanje odnosno montažu gotovih kanaleta.

Pored toga: povećavaju se čvrstoće kako za tlak tako i za vlak, smanjuje se širenje i skupljanje betona, povećava se nepropusnost betona za vodu i time otpornost u pogledu smrzavanja, poboljšava se otpornost protiv abrazije betona.

Gornje navodimo kao izvadak iz literature Naučnog zavoda za ispitivanje postupaka vakuumiranja betona u Brislu. (Centre scientifique international des procédés Billner Bruxelles — »CSIB«).

U međuvremenu je preduzeće »Gradis« proizvelo šest komada probnih kanaleta tipa T 60, koja se sada ispituju u Zavodu za građevinske

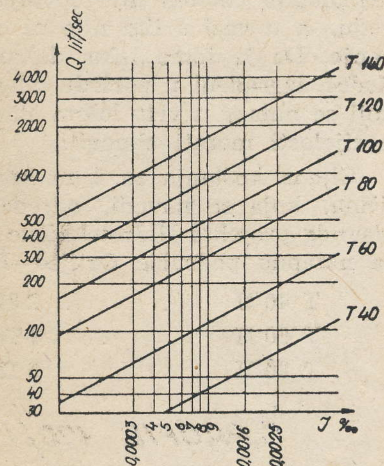


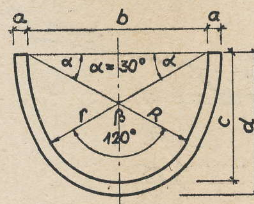


TIP / DIM.	T140/I	T120/I	T100/I	T80/I
S	1,60	1,35	1,10	0,92
t	1,30	1,10	0,90	0,75
B	2,40	2,07	1,72	1,44
Fi	4,08	3,26	2,40	1,82
Fo	4,60	3,87	3,20	2,70
d	0,25	0,25	0,25	0,25
CENA PO m'	14 170	11 720	9 260	7 550

Prilog 1 — Dijagram propusnosti zidanih kanala

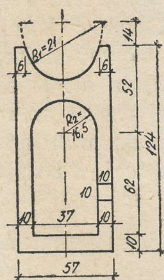
OZNAKA	DUŽINA KOM. m'	PRESJEK BETONA m²	BETON KOM. m³	TEŽINA KOM. t	CENA PO m' DIN.	OPASKA
T 40	4,00	0,0334	0,1336	0,320		U CIJENI JE OBUHVAĆENA IZRADA I MONTAŽA ZAJEDNO S POTPORAMA
T 80	4,00	0,0617	0,2460	0,590		
T 80	4,00	0,0978	0,3912	0,938		
T 100	4,00	0,1428	0,5712	1,370		
T 120	4,00	0,1954	0,7816	1,875		
T 140	4,00	0,2556	1,0220	2,452		

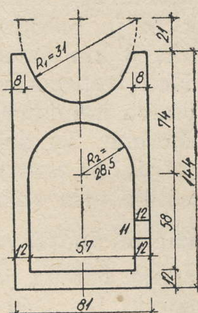


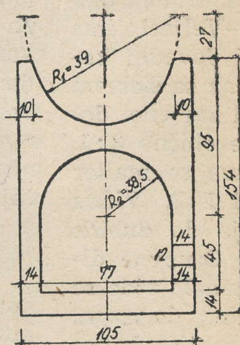


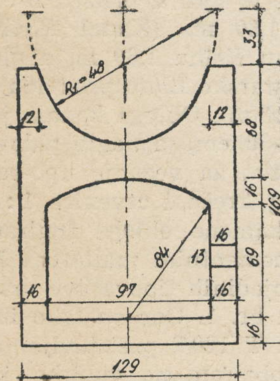
TIP KANALA	a cm	b cm	c cm	d cm	r cm	R cm
T 40	4	40	30	34	16,9	40
T 60	5	60	45	50	25,4	60
T 80	6	80	60	66	33,8	80
T 100	7	100	75	82	42,3	100
T 120	8	120	90	98	50,8	120
T 140	9	140	105	114	59,2	140

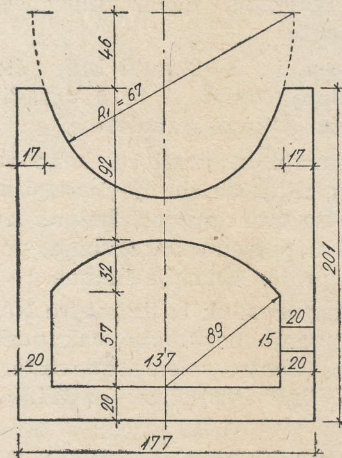
Prilog 2 — Dijagram propusnosti montažnih vakumiranih betonskih kanala

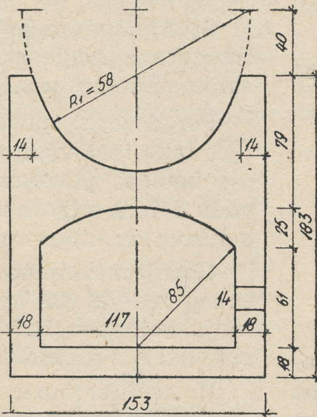


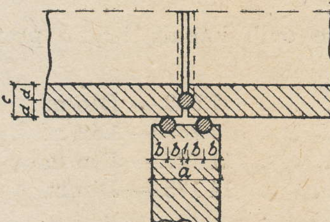












a cm	b cm
10	2'25
11	2'50
12	2'75
13	3'00
14	3'25
15	3'50

c cm	d cm
4	2'0
5	2'5
6	3'0
7	3'5
8	4'0
9	4'5

OZNAKA	ŠIRINA cm	VISINA cm	BETON m³	TEŽINA t	CENA DIN	OPASKA
P 40	57	124	0,0358	0,086	600	U CENI JE OBUHVAĆENA SAMO IZRADA POTPORE U RADIONICI.
P 60	81	144	0,0597	0,143	760	
P 80	105	154	0,0920	0,220	970	
P 100	129	169	0,1446	0,347	1330	
P 120	153	183	0,2162	0,510	1800	
P 140	177	201	0,2883	0,692	2320	

Prilog 3 — Betonske potpore za kanalete

konstrukcije u Ljubljani. Ispitivanja još nisu završena, ali podaci, s kojima već sada raspolažemo, više su nego ohrabrujući:

čvrstoća za vlak . . . 22—40 kg/cm²,
čvrstoća za savijanje . . 55—71 kg/cm²,
čvrstoća za tlak . . . 269—404 kg/cm².

Taj posljednji rezultat dobiven je na prizmama, što znači, da bi čvrstoće za tlak dobivene sa probnim kockama bile još za cca 25% veće.

Modul elasticiteta E = 300 — 350 000 kg/cm².

Oblik i veličina pojedinih montažnih kanala vide se iz priloga br. 2. Iz dijagrama na istom prilogu vidi se i kapacitet pojedinih kanala za razne padove od 0,0003% do 0,0025%. Kapacitet je računat pomoću Bazenove formule sa koeficijentom rapavosti a = 0,16.

Cijene za 1 m montažnih kanala izračunate su na osnovu građevinskih normi, a za radove u vezi s vakuumiranjem betona iskorištena su iskustva odnosno kalkulacije »Gradisa«, koje su sastavni dio ponude tog preduzeća Upravi kanala Dunav—Tisa—Dunav.

U cijeni za 1 m kanala (vidi analize) obuhvaćeni su svi troškovi izrade, transporta i montaže uključivši odgovarajući tip betonske potpore i troškove zaptivanja:

T 40 . . . . . 1 545.— Din/m,
T 60 . . . . . 2 237.— Din/m,
T 80 . . . . . 3 070.— Din/m,
T 100 . . . . . 4 047.— Din/m,
T 120 . . . . . 5 266.— Din/m,
T 140 . . . . . 6 380.— Din/m.

Napominjemo, da se vakuumiraju samo kanalete, dok se betonske potpore samo vibriraju. Detalj zaptivanja jasno se vidi iz priloga br. 3. U vezi s tim htjeli bismo ukazati na to, da su gubici vode iz kanala praktično ravni nuli, što je neobično značajno za područja gdje je voda deficitan materijal.

Upoređenje investicionih troškova za 1 m kanala i efekat primjene montažnih kanala

Taj ćemo pregled dati u vidu tabele (u dinarima).

Oznaka	Montažni kanali	Kanal T/II	Kanal T/I	Ušteda	
				u Din	u %
T 40	1 545	2 816	—	1 271	45
T 60	2 237	3 773	—	1 536	40
T 80	3 070	5 122	7 552	2 052	40
T 100	4 047	—	9 262	5 215	56
T 120	5 266	—	11 726	6 514	55
T 140	6 380	—	14 175	7 795	55

Efekat primjene vakuumirano-betonskih montažnih kanala prikazaćemo za jedan idealni ha natapne površine, i to na osnovu ovih pretpostavki:

a) U okviru cjelokupne mreže natapnih kanala otpada na kanale kapaciteta do:

2 250 l/sek. 5%,
1 190 l/sek. 8%,
687 l/sek. 12%,
390 l/sek. 15%,
187 l/sek. 25%,
70 l/sek. . . . . . 35%.

b) Na 1 ha natapne površine otpada 50 m kanala. Na osnovu ovoga dolazimo do zaključka, da investicioni troškovi glavnih kanala, uključivši razvodnu mrežu za jedan idealni ha natapne površine, iznose:

kod uobičajenog nač. izgradnje	300 000 Din/ha,
kod primjene montažnih kanala	140 000 Din/ha,
ušteda po jednom ha	160 000 Din/ha,

ili cca 50%, što znači da bismo kod 40 000 ha natapnih sistema mogli uštediti cca 6 milijardi dinara.

Zaključci:

a) Kod izrade idejnih i glavnih projekata natapnih sistema dosljedno razmotriti tehničke mogućnosti i ekonomski efekat primjene montažnih kanala, što će u krajnjoj liniji dovesti do likvidacije zastarjelih tehničkih metoda i uveliko smanjiti troškove građenja.

b) Osigurati sredstva za nabavku licence i potrebne mehanizacije za radionicu montažnih kanala godišnjeg kapaciteta 50 km, za što bi trebalo cca 40 000 000 Din, a potrebna devizna sredstva bila bi:

za licenciju i ostale dažbine	21 000 USA dol.,
2 komada vakuum pumpi	3 460 USA dol.,
24 komada vibratora	12 000 USA dol.,
svega:	36 000 USA dol.

KALKULACIJE

Struktura cijene: u smislu uputstava o tehničkim propisima za kalkulacije građevinskih radova, Službeni List LRS od 26 V 1955 godine.

Određivanje faktora na neposredne plate (osnova 100.—)

Plate za izradu	1,72
Opšti troškovi	1,40
Kalkulativna zarada	0,52
Terenski dodaci (ocjena)	0,30
Faktor na neposredne plate . . .	3,94
Amortizacija strojeva (ocjena) . .	0,06
Faktor na neposredne plate . . .	4,00

Ovaj faktor na neposredne plate uzima se kod kalkulacije građevinskih radova u vezi s izradom natapnih kanala prema dosada uobičajenom načinu. Svi radovi u vezi s vakuumirano-betonskim montažnim kanalima obračunati su sa faktorom na neposredne plate F = 5,00.

Neposredne plate:
grupa

I . . . . 32,0 Din/sat
II . . . . 37,50 „
III . . . . 37.50 „
IV . . . . 47 0 „
V . . . . 47,0 „
VI . . . . 47,0 „
VII . . . . 64,0 „

Pretkalkulacije kao i kalkulacije glavnih građevinskih radova izrađene su na osnovu normi, pri čemu se pretpostavilo »idealno gradilište« pod slijedećim uslovima:

nalazište riječnog šljunka nalazi se na otstojanju 5 km od radionice vakuumirano-betonskih kanaleta,

radionica vakuumirano-betonskih kanaleta 25 km udaljena je od posljednje željezničke stanice, srednja transportna dužina za prevoz prefabriciranih kanaleta od radionice do mjesta ugradnje je 10 km,

cijene, troškovi za izradu 1 m natapnog kanala prema dosada uobičajenoj tehnici (betonski kanali na suhom zidu odnosno sa kamenom oblogom) određeni su na osnovu glavnih građevinskih radova, s tim da se ovi troškovi povećaju za 19% za ostale radove i 10% za uređaj gradilišta. Ti su koeficijenti određeni na osnovu analize strukture investicija na natapnom kanalu Klobuk—Veljaci, Ortiješ—Buna, Mostarsko Blato. Kod cijene vakuumirano-betonskih kanala za uređaj gradilišta uzima se 10%, dok smo za ostale radove uzimali svega 10%, što je s obzirom na mnogo manje dimenzije objekata (sifoni, prelazi i t. d.) sigurno opravdano.

Cijene glavnih materijala i rezultati pretkalkulacija:

Šljunak	783.—	Din/m³
Pijesak (predviđa se vađenje iz Neretve i transport na 40 km. Taj je pijesak potreban radi poboljšanja tzv. mikrofrakcije od 1—4 mm)	3 410.—	„
Cement, fco radionica . .	17.—	Din/kg
električna energija . . .	25.—	Din/kWh
Ulje za mazanje strojeva .	160.—	Din/kg
Nafta (za mazanje metalnih modela)	60.—	Din/kg
Kamniktit, fco gradilište .	183.—	„
Štapin	26,50	Din/m
Kapisle	20.—	Din/kom.
Minerski čelik	336.—	Din/kg
Ugalj	28.—	„
Rezana građa	28 000.—	Din/m³
Ekseri	210.—	Din/kg
Šarafi	260.—	Din/kg

Troškovi licencije određeni su prema nacrtu ugovora, po kojem »Vacuum Concrete« — Pariz traži za 1000 km kanala 8000 dolara (USA). Kako je ova studija zasnovana na »idealnom« gradilištu, površine 4000 ha i 200 km kanala, to uzimamo kao troškove licencije adekvatan dio:

1600 USA dol. x 600 x 1,8 . . . 1 730 000.— Din

Pored toga, ovim se ugovorom predviđa dažbina 400.— Din za 1 m³ ugrađenog vakuumiranog betona. Kako se predviđa za to »idealno« gradilište 19 000 m³ vakuumiranog betona, to troškovi licencije iznose ukupno:

iz naslova 8 000 dolara	91.— Din/m³
400 x 1,8	720.— Din/m³
troškovi licence ukupno	811.— Din/m³

Amortizacija postrojenja obračunata je na osnovu pretpostavke, da će radionica prefabriciranih kanaleta imati godišnji kapacitet 50 km kanala različitih dimenzija. Približni troškovi takve radionice u pogledu investicionih sredstava iznose:

6 komada metalne oplate x 2 000 000.—	12 000 000.— Din
8 grupa vibratora (svaka grupa od tri vibratora ima svoj transformator) . . . . 8 x 1 500 USA dol. x 600 x 1,8 .	13 000 000.— Din
2 komada Vacuum-pumpi . . . . 2 x 1 730 USA dol. x 600 x 1,8 .	3 500 000.— Din
900 m² pokrivenog prostora	9 000 000.— Din
priprema agregata i uređaji radionice (bubanj za pranje, trijeri, silosi, miješalice, elevatori i dizalice)	15 000 000.— Din
ukupno	52 500 000.— Din

Životno doba takvog postrojenja u prosjeku iznosi osam godina. Prema tome, na jednu godinu otpada 6 560 000.— Din, što znači da bi kod godišnje proizvodnje postrojenja od 5 000 m³ na 1 m³ otpalo 1 310.— Din/m³.

Analize cijena:

Opis rada	Materijal	Radna snaga
0) Iskop u zemlji III kategorije		
GN 200,102—9		
R. II 2,5 x 37,5		93,75 Din
kalkulativna prodajna cijena:		
93,75 x 4		375.— Din/m³
1) Iskop zemlje IV kategorije		
GN 200,102—13		
(po dopunama norma iz 1955 g. na ovu normu + 10%)		
R. II 2,86 + 10% = 3,15 x 37,50		
kalkulativna prodajna cijena:		118,13 Din
118,13 x 4		473.— Din/m³
2) Iskop zemlje V kategorije		
GN 200,102—17		
čelik kg 0,08 x 336	26,88 Din	
ugalj kg 0,10 x 28	2,80 „	
kamniktit kg 0,40 x 183	73 20 „	
štapina kom. 2,40 x 26,5	63,60 „	
kapisle kom. 2,40 x 20	48,— „	
	214,48 Din	

Opis rada	Materijal	Radna snaga
radna snaga.		
R. II 2,20 x 37,50		82,50 Din
R. III 1,80 x 37,50		63,75 „
R. IV 4 x 47		188,— „
		334,25 Din
faktor: 4 x 334,25	1 337,— Din	
kalkulativna prod. cij.	1 551,48 Din/m^3	
3) Zidanje zidova kanala sa poluobrađenim kamenom debljine obloga 25 cm u malteru od kreča i crvenice 1 : 3		
GN 260,405		
lomljeni kamen m^3 1,25 x 2,182	2 727,50 Din	
malter m^3 0,35 x 4 000	1 400,— Din	
radna snaga:		
Z. VI 8 x 47		376,— Din
prenos kamena:		
GN 900—121 1,25 × 1,20 = 1,50		
R. I 1,50 × 32		48,— Din
		424,— Din
faktor 4 x 424	5 823,— Din/m^3	
4) Izrada jednostrane oplate za betoniranje zidova sa montažom i demontažom te prenosom do 30 m		
Obračun za 1 m^2		
GN 601—201—1		
Materijal:		
daska m^3 0,011 x 26 000	286,— Din	
gredice 0,007 x 26 000	482,— „	
ekseri kg 0,15 x 250	38,— „	
klamfe kg 0,07 x 140	10,— „	
radna snaga		
T. V 0,32 x 47		15,04 Din
R. III 0,38 x 37		14,25 „
R. II 0,11 x 37,50		4,13 „
R. I 0,13 x 32		4,16 „
	516,— Din	37,58 Din
faktor 4 x 37,58	150,— „	
kalkul. prod. cijena	666.— Din/m^2	
5) Suhi zid. Ova cijena je uzeta iz glavnog projekta natapnog sistema Ortiješ—Buna	7 300,— Din/m^3	
6) Analiza betona za kanalete. Predviđa se upotreba betona sa 300 kg cementa (na 1 m^3 gotovog betona) miješanje betona mašinski.		
Beton M 220		
Cement kg 300 x 17	5 100,— Din	
pijesak $6^0/_0$ od 1,33 = 0,08 x 3 410	273,— „	
(4—8 mm) šljunak $37^0/_0$ od 1,33 m^3 = 0,49 x 783	384,— „	30,— Din
(8—15 mm) šljunak $57^0/_0$ od 1,33 m^3 = 0,76 x 783	595,— „	
voda m^3 0,16 x 50	8,— „	
miješanje betona (zapremina mješalice 250 litara)		
električna energija $\frac{5\ KW}{4\ m^3}$		
kub. 1,25 x 25	31,— „	
ulje za podmazivanje kg 0,01 x 160	2,— „	
rad: (miješanje i manipulacije) 1,85 x 38		70,— Din
1,20 x 32		39,— „
0,14 x 32		5,— „
	6 393,— Din	144,— Din
faktor 5 x 144	720,— „	
	7 110,— Din/m^3	

Opis rada	Materijal	Plate
7) Analiza betona MB 160 za potpore (vidi prilog 3). Potpore su od betona MB 160 (250 kg cementa na 1 m^3 g. b.) Beton se vibrira na stolu ali se ne tretira Vacuum pumpama.		
Materijal:		
cement 250 kg x 17	4 250,— Din	
šljunak m^3 1,33 x 783	1 040,— „	30,— Din
voda m^3 0,16 x 50	8,— „	
električna energija	31,— „	
ulje za podmazivanje	2,— „	
Rad:		
miješanje i manipulacija 1,85 x 38		70,— Din
u vezi ugradnje 1,20 x 32		39,— „
0,14 x 32		5,— „
	5 331,— Din	144,— Din/m^3
faktor 5	720,— „	
fco radionica	6 051,— Din/m^3	
8) Analiza oplate za potpore. S obzirom na činjenicu, da dimenzije pojedinih potpora dosta variraju, i cijena oplate varira. Uz pretpostavku, da na male profile T 40 i T 60 otpada daleko najveći procentualni udio, obradit ćemo troškove oplate za T 80 kao prosječnu i mjerodavnu cijenu oplate bez razlike u veličini profila.		
Materijal:		
rezana građa m^3 0,397 x 28 000	11 120,— Din	
čavli kg 1,00 x 210	210,— „	
šarafi kg 4,0 x 260	1 040,— „	
električna energija		
kubika 6,5 x 25	162,50 „	
ulje za motore kg 0,04 x 160	6,40 „	
Rad:		
stolar 5 x 56		260,— Din
3 x 48		192,— „
	12 536,— Din	472,— Din
Upotreba modela: 50 puta, prema tome troškovi za 1 put	250,— Din	23,— Din
	250,— Din	
faktor 5	115,— „	
	365,— Din	
9) Analiza cijena pojedinih tipova potpora:		
a) P 40 (težina 1 kom. 86 kg)		
beton potpore MB 160 m^3 0,0358×6,051 . . .	217,— Din	
oplata (paušal)	365,— „	
transport od betonara do deponije sa kolicima:		
utovar, istovar: $\frac{0{,}52 + 0{,}40}{1\,000} \times 86 = 0{,}079$ . . .		
transport: $\frac{0{,}56}{1\,000} \times 86$ kg = 0,046		
0,125 × 32		4
	582,— Din	
faktor 5	20,— „	
fco deponija	602,— Din	
b) P 60 (težina 1 kom. 143 kg)		
beton potpore MB 160 m^3 0,0597 × 6,051 . . .	361,— Din	
oplata (paušal)	365,— „	
transport: 0,00092 × 143 = 0,13		
0,00056 × 143 = 0,08		
0,21 × 32 . . .		7
	726,— Din	
faktor 5	35,— „	
	761,— Din	

Opis rada	Materijal	Plate
c) P 80 (težina 1 kom. 220 kg)		
beton potpore m^3 0,0920 × 6,051	557,— Din	
oplata (paušal)	365,— „	
transport: 0,00092 × 220 = 0,202		
0,00056 × 220 = 0,123		
0,325 × 32		10
	922,— Din	
faktor 5	50,— „	
fco deponija	972,— Din	
d) P 100 (težina 1 komada 347 kg)		
beton potpore m^3 0,1446 × 6,051	886,— Din	
oplata (paušal)	365,— „	
transport: 0,00092 × 347 = 0,319		
0,00056 × 347 = 0,194		
0,513 × 32		16
	1 251,— Din	
faktor 5	80,— „	
	1 331,— Din	
e) P 120		
beton potpore m^3 0,2162 × 6,051	1 310,— Din	
oplata (paušal)	365,— „	
transport: 0,00092 × 510 = 0,469		
0,00056 × 510 = 0,296		
0,765 × 32		25
	1 675,— Din	
faktor 5	125,— „	
fco deponija	1 800,— Din	
f) P 140		
beton potpore m^3 0,2883 × 6,051	1 745,— Din	
oplata (paušal)	365,— „	
transport: 0,00092 × 892 = 0,82		
0,00056 × 892 = 0,50		
1,32 × 32		42
	2 110,— Din	
faktor 5	210,— „	
fco deponija	2 320,— Din	
10) Iskop za potpore u V kategoriji		
čelik 0,08 × 336	26,88 Din	
ugalj 0,10 × 28	2,80 „	
kamniktit 0,40 × 183	73,20 „	
štapina 2,40 × 16,50	63,60 „	
kapisle 2,40 × 20	48,— „	
Radna snaga: 2,20 × 37,50		82,50 Din
1,80 × 37,50		63,75 „
4,00 × 47,00		188,00 „
	214,48 Din	334,25 Din
faktor 4	1 337,— Din	
	1 551,— Din/m^3	
11) Beton za izravnanje MB 70 (150 kg/m^3). Beton se pravi u radionici, miješanje mašinsko. Srednja transportna dužina 10 km.		
cement kg 150 × 17	2 550,— Din	
šljunak m^3 1,22 × 783	955,— „	
voda m^3 0,20 × 50	10,— „	
transport betona 1,00 × 0,4 × 10 × 50	1 200,— „	
Radna snaga: 1,85 × 38		70,30 Din
1,20 × 32		38,40 „
Prenos cijevi iz skladišta 0,99 × 32		31,68 „
Utovar (iz miješalice direktno u obrtač) istovar izbacivanje sa lopatama 1,00 × 32,00		32,00 „
1,00 × 38,00		38,00 „
	4 715,— Din	210,38 Din
faktor 5	1 051,— „	
1 m^3 betona (ugrađen)	5 766,— Din	

Opis rada	Materijal	Plate
12) **Analiza cijena za 1 m dužni profila T 40.** Opšta napomena: Pošto su svi profili dužine 4 m, a na svaki profil predviđa se jedna potpora, računaćemo troškove za 4 m (uključivo odgovarajuća potpora. Napr. za T 40 uzima se potpora P 40) i onda ćemo troškove reducirati na 1 m.		
1) Beton kanalete m^3 0,1344 × 7 110	955,— Din	
2) Ugrađivanje u metalnu oplatu, vakuumiranje i vibriranje (prema podacima »Gradisa«) od komada	167,— „	200,— Din
3) Beton potpore P 40 (vidi analizu 9 a) . . .	602,— „	100,— „
	1 724,— Din	300,— Din
faktor 5	1 500.— „	
fco radionica	3 224,— Din	
Ostali troškovi:		
transport od betonare do na lice mjesta (0,323 + 0,086 × 10) × 50	204,— Din	
Iskop za potporu: (0,57 × 0,50 × 0,60 = 0,17 m^3) 0,17 × 1 551 . . .	264,— „	
Beton za izrađivanje (0,57 × 0,50 × 0,10) × 5 766	285,— „	
utovar, istovar i montaža: 3 sata po 200 dinara	600,— „	
brtvenje (paušal)	200,— „	
licenca: m^3 0,1344 × 811	109,— „	
amortizacija: (0,1344 × 0,0358 × 1 310)	222,— „	1 884,— Din
		5 108,— Din
+ 10% za ostale radove		511,— „
		5 619,— Din
+ 10% za uređaj gradilišta		562,— „
		6 181,— Din
odnosno za 1 m — 1 345 Din		
13) **Analiza cijena za T 60/1 m**		
Beton kanalete m^3 0,2560 × 7 110	1 830,— Din	
Ugrađivanje u metalnu oplatu, vibriranje i vacuum.	167,— „	250,— Din
Beton potpore (vidi analizu 9 b)	761,— „	120,— „
	2 758,— Din	370,— Din
faktor 5	1 850,— „	
fco radionica	4 608,— Din	
Ostali troškovi:		
transport od radionice do na lice mjesta (0,614 + 143) × 10 km × 50	378,— Din	
iskop za potporu: 0,81 × 0 50 × 0,60 = 0,243 m^3		
0,243 × 1 551	376,— ,	
beton za izravnanje: (0,81 × 0,50 × 0,10) × 5 766	229,— „	
utovar, istovar i montaža 5 sati po 200 . . .	1 000,— „	
brtvenje (paušal)	250.— „	
licenca (0,2560 × 811)	207,— „	
amortizacija (0,2560 + 0,0597) × 1 310	412,— „	2 852,— Din
		7 460,— Din
+ 10% za ostale radove		746,— „
		8 206,— Din
+ 10% za uređaj gradilišta		821,— „
odnosno za 1 m — 2 257 Din		9 027,— Din
14) **Analiza za kanal T 60/II**		
troškovi za 1 m:		
iskop zemlje III kategorije m^3 0,27 × 375 . . .		101,— Din
suhi zid m^3 0,45 × 2 300		1 035,— „
oplata m^2 1,74 × 666		1 160,— „
beton MB 110 m^3 0,123 × 6 689		822,— „
		3 120,— Din
+ 10% za ostale radove		312,— „
		3 430,— Din
+ 10% za uređaj gradilišta		343,— „
		3 773,— Din

Opis rada	Materijal	Plate
15) Analiza za kanal T 40/II		
PROFIL T40/I.		
troškovi za 1 m:		
iskop III kategorije m³ 0,14 × 375		52,— Din
suhi zid m³ 0,24 × 2 300		552,— „
oplata m² 1,54 × 666		1 025,— „
beton MB 110 m³ 0,105 × 6 689		701,— „
		2 330,— Din
+ 10% za ostale radove		233,— „
		2 560,— Din
+ 10% za uređaj gradilišta		256,— „
		2 816,— Din/m

Ervin Nonveiller, C. E., Geoistraživanja, Zagreb

Foundation of the core of the rock-fill dam Peruča

On the river Cetina near Sinj a rock-fill, 60 meters high structure for the damming up of the storage basin, for hydroelectrical and irrigation purposes, is being build. The ground is composed of broken, carstified, cretaceous limestones. The bearing capacity of the ground is good, and does not, from the soil mechanics point of view, represent any problem. The only problem was the foundation of the clay core in the river bed. Because of the permeability in some places, permanent and temporary springs are located along the river bed and a certain danger of too great an inflow into the foundation excavation exists, and which would make the proper placing of the clay very difficult. Therefore, a masive concrete foundation up to the level of the low water on the downsteam side of the dam, has been forseen. The watertightness of the ground under the foundation is achieved by a deep grout curtain. In the middle part of the dam, in the concrete foundation, a control gallery is situated, out of which any neccessary, additional grouting can be completed. The closing of tre excavation can be achieved by different procedures, shown on fig. 3. Lastly, it was decided upon the errection of an upstream and downstream earth coffer dam as shown on fig. 3. — alternative 4. The construction was completed without any difficulty and the seepage under the coffer-dam was negligible. A few photographs illustrate the foundation works.

Ing. Nonveiller, Geoistraživanja, Zagreb

La fondation de l' écran de la digue en enrochement Peruča

Une digue en enrochement est en voie de construction sur la Cetina près de Sinj. Elle a une hauteur de 60 m et créée une retenue destinée aux fins agricoles et énergétiques. Le sol est constitué de calcaires crétacées karstifiés et fissurées. Il a une bon resistence et ne pose pas des problèmes géomecaniques concernant les fondations. Le seul problème à resoudre, posait l'écran du barrage, dans le voisinage du lit de la Cetina. L'apparition des sources permanentes ou periodiques, dont la présence est dûe à la permeabilité du sol, fait craindre l'inondation de la fouille et menace la qualité des travaux de mise en place de l'argile pour l'écran. Pour eviter ce danger, on pose l'écran sur un seuil de béton, arasé à la cote du niveau d'étiage de la Cetina pris en aval du barrage. L'impermeabilité du terrain au-dessous de l'écran a été obtenue par l'injection d'un voile d'étanchéité. Dans la partie centrale de la digue et dans l'écran, se trouve une galerie de contrôle, qui permettra, cas échéant, une reconsolidation. On prévoit plusieurs méthodes d'isolement de la fouille dans le lit de la Cetina, pour construire la fondation en béton de l'écran, présentées à la Fig. 3. Finalement, c'est l'alternative 4 de la Fig. 3 qui a été admise pour la construction du batardeau aval et amont. L'execution a reussi sans difficultés et les fuites d'eau ont été négligeables. Quelques photos donnent une idée de l'execution des fondation.

Antun Stepinac, C. E. — Mirko Sever, C. E., Elektroprojekt — Zagreb

Hydroelectric scheme Lika — Gacka with regard to the accumulations on the river Lika

This report deals firstly with the efforts and results of nearly 50 years of work for the utilisation of the high water potential of the rivers Lika and Gacka. From the initial discharge of 7 m^3/sec, the actual design today is based on 70 m^3/sec. The hydrological and geological conditions justify this design.

An essential role at the utilisation of the hydraulic forces of the river system Lika-Gacka is played by the accumulations at the middle and lower parts of the river Lika, and which are considered in this article especially from the hydrological point of view and their general economic meaning and influence.

Ing. Stepinac A. — Ing. Sever M., Elektroprojekt, Zagreb

Le noeud hydroénergetique Lika—Gacka, eu égard aux accumulations sur la Lika

Le rapport rappele d'abord les efforts qui on été faits pendant presque cinquante années, pour utiliser le haut potentiel énergétique des eaux de la Lika et de la Gacka. Partant de 7 m^3/s tout debut, le projet actuel prevoit aujourd'hui un débit installé de 70 m^3/s. Les possibilités hydrologiques et les caractéristique géologiques du bassin versant, justifient ce débit. Un rôle essentiel dans l'utilisation des forces hydrauliques du système Lika-Gacka, assument les bassins d'accumulation sur le cours d'eau moyen et inférieur de la Lika Dans le rapport on s'occupe de ce rôle surtout à l'égard des caractéristiques hydrogéologiques et de son importance économique général.

Ivan Vavra, C. E., Elektrosond, Zagreb

Grouting of the alluvium deposit under the foundation of the pumping station Gornja Dolina — Bosanska Gradiška

During the excavation of the foundation for the pumping station it was observed that the wooden sheet-piling does not provide the required water-tightness. The inflow of water reached 1.0 m^3/sec, and was partly reduced by throwing of twigs and clay, but the foundation material was still washed out and the stability of the whole structure endangered.

Because of the consolidation of the foundation, grouting with cement-clay-bentonit mixtures was carried out. The basic suspension cement-water-clay was improved by addition of bentonit. The function of the cement was the setting and hardening of mixture thus improving of the bearing capacity. The clay and the bentonit were mechanicaly activated in special apparatuses, and chemicaly with Na_2CO_3. The technological proces proceeded normaly, and the finishing of the grouting by volume, time and intensity of final pressures was completed after criteria even more severe then the ones by Lugeon and Terzaghi.

The whole job was finished successefully and the results chequed by excavations at the grouted site and by measuring the inflow of the ground water into these excavations.

Ing. Vavra Ivan, Elektrosond, Zagreb

Injections des aluvions dans la fouille de la station de pompage Gornja Dolina—- Bosanska Gradiška

Les palplanches de la fouille de la station de pompage, étaient insuffisamment étanches. Les fuites atteignaient un débit de 1 m^3/s. On a reussi a diminuer ce débit dans une certain mesure par des bouchons d'argile, mais le lavage des fondation en béton progressait tout de même. La stabilité de la construction étant en cause, il a été décidé de proceder à la consolidation des fondations par injections, composées du mélange ciment-bétonit-argile. Pendant que le ciment augmentait la résistence et assurait le durcissement et la bonne liason de la masse, l'argile et le béntonit ont été activés mécaniquement et chimiquement par Na_2CO_3. Les travaux se developpaient normalement et les resultats étaient satisfaisants. Un critère de fin des travaux, plus sevère de celui proposé par Lugeon et Terzaghi, était admis. On a procedé à une verification des resultats par excavation de la fondation injectée.

L. Cerar, Hercegnovi

Economic significance of prefabricated vacuum concrete canals in carstic conditions

The author tries to show the economic significance of the use of vacuum concrete prefabricated canals in the prevailing conditions of Hercegovina. The construction and shape of the canal are entirely after Mr. Umek (Gradis — Ljubljana) while the supports are considerably changed.

The prices of the construction works are determined on the basis of wages and costs of materials for the year 1955.

Ing. Cerar, Hercegnovi

Signification économique des canaux préfabriqués en béton essoré, dans des terrains karstiques

L' auteur étudie l' emploie des canaux préfabriqués en utilisant le béton essoré (vacuum concrete) à l' Herzegovine. La construction et la forme du canal correspond au type de l'ing. Umek (Gradis—Ljubljana) sauf les appuis, qui ont été reconstruit. Les prix des travaux du génie civil sont ceux de l' année 1955.

J. Mešiček — S. Milosavljević

Hydraulic steel structures for the Gojak scheme

This report gives a short description of the main hydraulic steel structures under construction for the GOJAK hydroelectric scheme.

A) Sabljaki Dam

Clear width of water-way: 16.00 m, top water level: 2.7 m. A folding gate with one-side lifting and with hoist gear on left river side is used. A description of functioning is given. Fig. 1 shows cross section with gate in lowest and upmost positions.

B) Bukovnik Dam

Clear width of water-way: 24.00 m, top water level: 5.0 m. The water-way is closed by means of a three-chord roller gate with folding shutter. The height of the roller gate is 4.0 m, the height of the shutter is 1.0 m. The cross section of the roller gate is triangular. The gate consists of two lattice girders with common downstream chord and a vertical upstream skin plate. A short description of the design and functioning of gate is given. Fig. 2 shows cross section of gate and dam.

C) »Dobra« Water Intake at Bukovnik Lake

The water intake is equipped wiht a coarse screen, a fine screen, an emergency gate and a main gate. The coarse screen has three openings measuring 5.5 × 5 m and consists of vertical bars made of steel tubes. The fine screen is 1.0 m wide and 7.15 m high; it is composed of flat steel bars inclined under an angle of 70° to the horizontal. The gates have the same size, they are designed for a water-way of 4.5 × 4.5 m. Fig. 3 shows cross section of water intake.

D) Surge Tank (Balancing Chamber)

The penstock gate is placed in the surge tank before the penstock inlet. The gate measuring 2.4 × 4.5 m is of welded construction and is divided in 3 parts jointed by articulations. Fig. 4 shows cross section of surge tank with gate. The gate is hydraulically operated.